



**UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MAPEAMENTO DE RISCO A ESCORREGAMENTO DE ENCOSTAS NA
CIDADE DE ESCADA – PE**

AUTOR: PAULO MARCELO CAVALCANTI DE OLIVEIRA SOUZA

ORIENTADOR: JOAQUIM TEODORO ROMÃO DE OLIVEIRA

COORIENTADOR: FÁBIO JOSÉ DE ARAÚJO PEDROSA

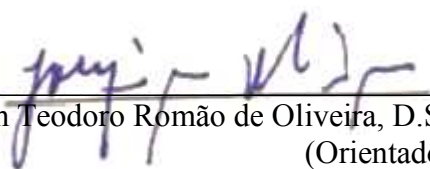
Recife, 2019

**MAPEAMENTO DE RISCO A ESCORREGAMENTO DE ENCOSTAS NA
CIDADE DE ESCADA – PE**


PAULO MARCELO CAVALCANTI DE OLIVEIRA SOUZA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À UNIVERSIDADE CATÓLICA DE
PERNAMBUCO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL. ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
TECNOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES

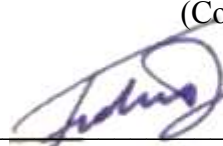
APROVADA POR:



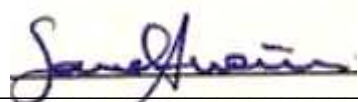
Joaquim Teodoro Romão de Oliveira, D.Sc.
(Orientador)



Fabio José de Araújo Pedrosa, D.Sc.
(Coorientador)



Eduardo Antônio Maia Lins, D.Sc.
Avaliador Interno (UNICAP/IFPE)



Samuel França Amorim, D.Sc.
Avaliador Externo (UFRPE-UACSA)

Recife, 2019

O48m

Oliveira, Paulo Marcelo Cavalcanti de

Mapeamento de risco a escorregamento de encostas na cidade de Escada- PE / Paulo Marcelo Cavalcanti de Oliveira, 2019.
106 f. : il.

Orientador: Joaquim Teodoro Romão de Oliveira

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Mestrado em Engenharia Civil, 2019.

1. Planejamento urbano. 2. Mapeamento de riscos ambientais. 3. Encostas - Acidentes. 4. Deslizamentos (Geologia). 5. Escada (PE). 6. Riscos ambientais. I. Título.

CDU 711.4

Catarina Maria Drahomiro Duarte - CRB 4/463

Ao meu amigo fiel e verdadeiro Jesus que tem me guiado e direcionado os meus passos nessa peleja, cuja vitória é certa. Aos meus pais e familiares por ser a base fundamental, a todos que tem orado e torcido por mim nessa caminhada. Aos meus professores e mestres, desde os anos iniciais até a vida acadêmica, bem como a todos os amigos e colegas que contribuíram e somaram com algum conhecimento.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua graça, misericórdia e amor.

Ao professor Joaquim Teodoro Romão, pela sua orientação desde minha iniciação na vida como estudante de engenharia, iniciada em agosto de 2010.

Ao professor Fábio José Pedrosa pela orientação nesta dissertação da parte da geologia e uso e ocupação.

À Prefeitura Municipal de Escada, pelo apoio, sem os quais este trabalho não seria possível.

Aos colegas e amigos, pela amizade, contribuições e incentivo em especial os amigos.

Aos técnicos do laboratório de solos e instrumentação da UNICAP pela contribuição neste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), como também ao Programa de Suporte à Pós-Graduação de Instituições Comunitárias de Ensino Superior (PROSUC) pelo suporte financeiro recebido durante o período de vigência da bolsa, importante para o desenvolvimento desta dissertação.

E a todos que contribuíram direta e indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

Problemas históricos e que giram em torno do desenvolvimento e crescimento populacional e urbano, têm provocado o uso e ocupação desequilibrada do meio ambiente, gerando perdas significativas, principalmente em áreas vulneráveis. O município de Escada, localizado na mata sul do estado de Pernambuco, com área de 342,201 Km² e uma população de 68.448 habitantes (IBGE, 2010), a cidade encontra-se inserida, geologicamente falando, na Província Borborema, onde duas unidades geomorfológicas bem distintas são identificadas: uma planície de inundação que corresponde a quase 30% da área, e os morros que perfazem mais de 70% da área total, tais áreas de morros apresentam uma elevada densidade populacional. Os bairros centrais edificados em morros, ocupados de forma desordenada, onde a ausência de um planejamento considerando as peculiaridades do meio, a falta de infraestrutura e uma política de educação ambiental defasada leva o município a enormes desafios principalmente nos períodos chuvosos, que impactam de maneira severamente negativa a vida de quem reside nessas áreas com risco a escorregamento. A respectiva dissertação tem por objetivo principal, elaborar mapa de risco a escorregamento com ocupação desordenada de 5 (cinco) encostas presentes na região urbana do município de Escada, a partir do estudo das características físicas e ambientais do município; fornecendo subsídios técnicos para os gestores do município, permitindo conhecer e considerar os riscos dessas ocupações no planejamento urbano, uma vez que essa cidade no ano de 2017 sofrera, com as fortes chuvas, onde no mesmo ano, no estado foram registrados 61 deslizamentos e 369 desabrigados em Pernambuco(CODECIR) ,estando o município incluso nesses numeros. Para uma análise mais aprofundada das Para uma análise mais aprofundada das áreas escolhidas, foram coletadas amostras de solos para a realização de ensaios de caracterização em laboratório. A avaliação do potencial de risco foi baseada na metodologia proposta por Gusmão Filho et. al., (1992); juntamente com a utilização do *software ArcGIS* para a modelagem dos mapas. A avaliação de risco resultou que 0.69% da área estudada obteve um risco baixo, 93.35% das encostas risco médio e 5.96% de toda área avaliada obteve risco alto. Durante a avaliação de risco, foi possível verificar que o fator predominante de risco é o ambiental (P3) fortemente induzido pelos fatores topográfico (P1) e geológico (P2).

Palavras-chave: Ocupação desequilibrada. Escada. Morros. Planejamento urbano.

ABSTRACT

Historical problems that revolve around urban and population development and growth have led to unbalanced use and occupation of the environment, leading to significant losses, especially in vulnerable areas. The municipality of Escada, located in the southern forest of the state of Pernambuco, with an area of 342,201 km² and a population of 68,448 inhabitants (IBGE, 2010), the city is geologically speaking in the province of Borborema, where two geomorphological units are well located. Distinct areas are identified: a flood plain corresponding to almost 30% of the area, and hills that make up more than 70% of the total area, such hill areas have a high population density. The central neighborhoods built on hills, in a disorderly way, where the absence of planning considering the peculiarities of the environment, the lack of infrastructure and a lagged environmental education policy leads the city to huge challenges especially in rainy periods, which have a significant impact. severely negative the lives of those who live in those areas at risk of slipping. The purpose of this dissertation is to elaborate a risk map for landslide with disordered occupation of 5 (five) slopes present in the urban region of Escada, from the study of the physical and environmental characteristics of the municipality; providing technical support to city managers, allowing to know and consider the risks of these occupations in urban planning. For a more in-depth analysis of the chosen areas, soil samples were collected for laboratory characterization tests. The risk potential assessment was based on the methodology proposed by Gusmão Filho et. al. (1992); together with the use of ArcGIS software for map modeling. The risk assessment showed that 0.69% of the study area had a low risk, 93.35% of the medium risk slopes and 5.96% of the entire assessed area had a high risk. During the risk assessment, it was found that the predominant risk factor is environmental (P3) strongly induced by topographic (P1) and geological (P2) factors.

Keywords: Unbalanced Occupation. Escada. Hills. Urban planning.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estágios dos movimentos de massa	16
Figura 2. Correlação entre a Intensidade da Chuva e a Chuva Acumulada para as Encostas da Formação Barreiras da Cidade do Recife – PE	23
Figura 3. Despejo de águas servidas diretamente na encosta	24
Figura 4. Deposição de lixo e entulho sobre a encosta.....	25
Figura 5. Construções sobre as encostas dos morros.....	25
Figura 6. Variação Esquemática proposta por Wolle (1986) da Estabilidade de uma encosta ao longo do tempo com e sem vegetação arbórea	27
Figura 7. Impacto de uma gota de chuva sobre o solo	28
Figura 8. Erosão devido a vazamento de tubulações de águas servidas.....	29
Figura 9. Esquema do processo de Erosão Hídrica	30
Figura 10. Classificação espacial das encostas quanto ao tipo de perfil e de processos superficiais operantes	32
Figura 11. Principais atividades envolvidas em Geoprocessamento	40
Figura 12. Mapa de localização do Município de Escada-PE	46
Figura 13. Mapa Geológico do município de Escada.....	47
Figura 14. Áreas de estudo	50
Figura 15. Retirada de amostra da Encosta 01	51
Figura 16. Amostras de solo da Encosta 01.....	51
Figura 17. Amostra de solos da Encosta 02.....	52
Figura 18. Amostra de solos da Encosta 03.....	52
Figura 19. Amostra de solos da Encosta 04.....	53
Figura 20. Amostra de solo da Encosta 05	53
Figura 21. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 01	59
Figura 22. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 01	60
Figura 23. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 02	61
Figura 24. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 02	61
Figura 25. Curva granulometria do solo superficial da Encosta 03.....	62
Figura 26. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 03	63
Figura 27. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 03	63

Figura 28. Curva granulometria do solo superficial da Encosta 04.....	64
Figura 29. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 04	65
Figura 30. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 04	65
Figura 31. Curva granulometria do solo 3 da Encosta 04	66
Figura 32. Curva granulometria do solo 4 da Encosta 04	66
Figura 33. Curva granulometria do solo 5 da Encosta 04	67
Figura 34. Curva granulometria do solo 6 da Encosta 04	67
Figura 35. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 05	69
Figura 36. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 05	69
Figura 37. Curva granulometria do solo 3 da Encosta 05	70
Figura 38. Córrego da Carniça	73
Figura 39. Mapa de suscetibilidade para o fator topográfico (P1)	74
Figura 40. Gruta do Vigário	75
Figura 41. Mapa de suscetibilidade para o fator geológico (P2).....	76
Figura 42. Córrego da Paz (Nova Descoberta).....	77
Figura 43. Alto da Vitoria.....	78
Figura 44. Mapa de suscetibilidade para o fator ambiental (P3).....	79
Figura 45. Mapa de suscetibilidade final.....	80
Figura 46. Córrego da Carniça	82
Figura 47. Mapa população em área de risco	84

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Classificação dos movimentos de massa	17
Quadro 2. Classes de causa de deslizamento de encostas	19
Quadro 3. Fatores deflagradores dos movimentos de massa.....	20
Quadro 4. Suscetibilidade à Erosão de Acordo com o Tipo de solo	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Grau de Risco	42
Tabela 2. Ficha de levantamento dos fatores para avaliação do potencial de risco das encostas.....	43
Tabela 3. Detalhamento dos atributos por graus de risco.....	44
Tabela 4. Graus de risco finais para o Município do Recife	45
Tabela 5. Índice de Plasticidade	54
Tabela 6. Notas dos atributos para o Fator Topográfico	56
Tabela 7. Notas dos atributos para o fator geológico	56
Tabela 8. Notas dos atributos para o fator ambiental	57
Tabela 9. Frações das amostras de solos da Encosta 01	60
Tabela 10. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 01	60
Tabela 11. Frações das amostras de solos da Encosta 02.....	62
Tabela 12. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 02.....	62
Tabela 13. Frações das amostras de solos da Encosta 03	64
Tabela 14. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 03.....	64
Tabela 15. Frações das amostras de solos da Encosta 04.....	68
Tabela 16. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 04.....	68
Tabela 17. Frações das amostras de solos da Encosta 05	70
Tabela 18. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 05.....	70
Tabela 19. Classificação das amostras de solos da Encosta 01 pelo S.U.C.S.	71
Tabela 20. Classificação das amostras de solos da Encosta 02 pelo S.U.C.S.	71
Tabela 21. Classificação das amostras de solos da Encosta 03 pelo S.U.C.S.	71
Tabela 22. Classificação das amostras de solos da Encosta 04 pelo S.U.C.S.	72
Tabela 23. Classificação das amostras de solos da Encosta 04 pela S.U.C.S.	72
Tabela 24. Grau final de risco das encostas para o fator topográfico.....	73
Tabela 25. Grau final de risco das encostas para o fator geológico	75
Tabela 26. Grau final de risco das encostas para o fator geológico	78
Tabela 27. Grau de Risco Final	81
Tabela 28. Número aproximado de imóveis e pessoas em áreas de risco	83

SUMÁRIO

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO.....	12
1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo Geral.....	14
1.2.2 Objetivos Específicos.....	14
CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
2.1 MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA.....	15
2.1.1 Classificação dos movimentos de massas.....	16
2.1.2 Escorregamentos de terras (<i>Slides</i>).....	18
2.1.3 Fatores deflagradores dos escorregamentos.....	19
2.1.3.1 A chuva e os escorregamentos.....	20
2.1.3.1.1 Correlação entre chuvas e deslizamentos.....	21
2.1.3.1.2 Exemplo de correlação entre chuvas e deslizamentos na RMR (Região Metropolitana do Recife).....	22
2.1.3.2 Ações e/ou fatores antrópicos.....	23
2.1.3.3 Ação da vegetação como agente estabilizador ou instabilizador de deslizamentos.....	26
2.2 EROSÃO.....	27
2.2.1 Erosão Hídrica Pluvial.....	28
2.2.2 Fatores condicionantes que influenciam o processo de erosão.....	30
2.2.2.1 A chuva.....	30
2.2.2.2 Ações Antrópicos.....	31
2.2.2.3 Cobertura Vegetal.....	31
2.2.2.4 Relevo.....	32
2.2.2.5 Morfologia.....	32
2.2.2.6 Propriedades do Solo.....	33
2.3 RISCO DE ESCORREGAMENTO.....	34
2.3.1 Conceitos e classificação de risco.....	34
2.3.2 Termos relacionados ao Risco.....	35

2.3.2.1	Suscetibilidade (<i>Susceptibility</i>)	35
2.3.2.2	Vulnerabilidade (<i>Vulnerability</i>)	36
2.3.2.3	Perigo (<i>hazard</i>).....	36
2.3.2.4	Áreas e/ou elementos de risco	37
2.3.3	Processo de urbanização das encostas x risco geológico/geotécnico.....	37
2.4	Utilização de cartas e mapas para análise de suscetibilidade e risco.....	38
2.4.1	Ferramentas de Geoprocessamento utilizadas no mapeamento de áreas de risco	39
2.4.1.1	SIG – Sistema de Informação Geográficas	41
2.4.2	Programa de Geoprocessamento	41
2.5	Metodologia para elaboração dos mapas de risco Geológicos/geotécnicos	41
2.5.1	Metodologia de Gusmão Filho et. al., (1992) para elaboração de mapa de risco e erosão e escorregamento	42
CAPÍTULO III – MATERIAL E MÉTODOS		46
3.1	Caracterização da área de estudo.....	46
3.1.1	Localização.....	46
3.1.2	Aspectos Fisiográficos do município de Escada – PE	47
3.1.2.1	Geologia	47
3.1.2.1.1	Complexo Belém do São Francisco	48
3.1.2.2	Relevo.....	48
3.1.2.3	Solo.....	48
3.1.2.4	Vegetação	49
3.2	Áreas selecionadas para a utilização do método	49
3.2.1	Análise Granulométrica e determinação do Índice de Plasticidade (IP)	50
3.2.2	Análise de risco por meio da metodologia proposta por Gusmão Filho et. al. (1992)	55
3.2.2.1	Fator Topográfico (P1).....	55
3.2.2.2	Fator Geológico (P2).....	56
3.2.2.3	Fator Ambiental (P3).....	57
3.2.2.4	Grau de risco final	57
CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		59

4.1	Caracterização das amostras de solos.....	59
4.1.1	Análise Granulométrica e Índice de Plasticidade (IP)	59
4.1.1.1	Encosta 01 – Córrego da Paz (Nova Descoberta)	59
4.1.1.2	Encosta 02 – Gruta do Vigário (Centro)	60
4.1.1.3	Encosta 03 – Córrego da Carniça (Centro)	62
4.1.1.4	Encosta 04 – Rua Valdemar Lima (Centro)	64
4.1.1.5	Encosta 05 – Alto da Vitória (Centro)	69
4.1.2	Classificação dos Solos através do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (S.U.C.S.).....	71
4.2	Graus de risco finais alcançados.....	72
4.2.1	População em área de Risco.....	82
	CAPÍTULO V – CONCLUSÕES	86
	CAPÍTULO VI – SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	88
	REFERÊNCIAS	89
	Anexo A – Fluxograma e Carta de plasticidade da S.U.C.S.	96
	Apêndice A – Curvas de níveis das áreas estudadas	97
	Apêndice B – Unidades litoestatigráficas presentes nas áreas de estudo	98
	Apêndice C – Mapa de suscetibilidade para o fator topográfico.....	99
	Apêndice D – Mapa de suscetibilidade para o fator geológico	100
	Apêndice E – Mapa de suscetibilidade para o fator ambiental.....	101
	Apêndice F – Mapa de suscetibilidade final.....	102
	Apêndice H – Mapa de Lotes	103
	Apêndice G – População em área de risco	105

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

No Brasil, todos os anos ocorrem deslizamentos de terras, causando danos sociais, econômicos e/ou ambientais. Segundo o CEMADEN (Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais), o Brasil, é um país, que apresenta um alto grau de suscetibilidade, em relação aos movimentos de massa, em decorrência de seu clima, onde suas estações indefinidas, são marcadas por chuvas intensas nas regiões onde há grandes maciços montanhosos.

Os deslizamentos de massas são eventos muito comuns em áreas de morros do território brasileiro. Os morros são unidades geológicas muito presentes no Brasil, principalmente na região litorânea; são caracterizadas por apresentarem elevadas suscetibilidades ao deslizamento, devido as alturas consideráveis e elevadas declividades.

Somado ao fator topográfico, os morros, em alguns casos apresentam solos com alta probabilidade a ocorrência de erosão e deslizamentos, como é o caso dos solos residuais, solos com alta suscetibilidades aos processos de erosão e deslizamentos.

Os morros, como já foi dito, são locais muito propensos a ocorrência de acidentes geotécnicos/geológicos. No entanto, a suscetibilidade e o grau de risco a desastre aumentam, somado a ações antrópicas que reduzem a estabilidade e/ou aumentam a solicitação dessas áreas. Não se distanciando desse cenário, o estado de Pernambuco está inserido neste contexto, onde há uma ocupação expressiva e desordenada dessas áreas de morros.

Devido ao grande número dessas áreas, é necessário avaliar e mapear qual o grau de risco que essas áreas apresentam. Há na literatura inúmeros métodos com esse objetivo, dentre os quais podem ser citados autores como : BANDEIRA e COUTINHO, 2008; BANDEIRA et al, 2008; GOBBI et al, 2008; CORREIA e BONAMIGO, 2008; PEREIRA et al, 2008; VARANDA et al, 2008; BRESSANI e BERTUOL, 2010; FARIA e FILHO, 2010; XAVIER et al, 2010; BROLLO et al, 2010; MENDONÇA et al, 2010; NOGUEIRA et al, 2011; ALHEIROS, 2011; CANIL et al, 2011; MACEDO et al, 2011; BROLLO et al, 2011. Para este trabalho o método a ser utilizado é o proposto por Gusmão Filho et. al., (1992), seguindo as diretrizes de BANDEIRA, 2003, onde as áreas avaliadas pertencem ao município de Escada – PE.

O município de Escada – PE está contido nesse cenário, apresentam muitas áreas de risco com elevadas suscetibilidades ao deslizamento de terras, dentre as quais foram selecionadas 5 (cinco) para a aplicação do método, são elas:

- Encosta 01 – Córrego da Paz (Nova Descoberta);
- Encosta 02 – Gruta do Vigário (Centro);
- Encosta 03 – Córrego da Carniça (Centro)
- Encosta 04 – Rua Valdemar Lima (Centro);
- Encosta 05 – Alto da Vitória (Centro).

O mapeamento das áreas de risco se constitui uma poderosa ferramenta no controle e planejamento do meio, facilitando nas tomadas de decisões, priorizando as alternativas mais viáveis, evitando desperdício de tempo e dinheiro. Além de evitar que tais áreas sejam ocupadas de forma inapropriadas (BANDEIRA, 2003).

Para Zuquete e Nakazawa, (1998) o mapeamento de risco possuem os seguintes objetivos: obras de construção civil; e organização do espaço urbana, territorial e ambiental; desenvolvimento e proteção ambiental.

1.1 JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

Os deslizamentos de terras são eventos que causam perdas de vidas e propriedades, como também são causadores de danos ambientais. Esses sinistros ocorrem todos os anos em regiões de morros, principalmente em áreas ocupadas de forma desordenada. Em Escada, diante dados fornecidos pela defesa civil do município, no ano 2017 tendo a cidade decretado estado de emergência, fora de forma preventiva colocado lonas em cerca de 10 pontos com evidencia de deslizamento, tendo evidencias de cicatrizes no solo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O principal objetivo desta dissertação de mestrado é elaborar mapa de riscos a escorregamento das encostas com ocupação desordenada pertencente ao município de Escada – PE, se teve o uso de *drone*, para auxiliar e identificar pontos de lonamento e melhor visualização das áreas, além de ferramentas SIG.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Realizar ensaios de caracterização em amostras coletadas nas 5 (cinco) encostas escolhidas, propiciando uma melhor compreensão dos solos existentes nessas áreas;
- Utilizar o *software ArcGIS* para a elaboração dos mapas de riscos de forma semi-automatizado;
- Identificar os fatores físicos e ambientais de suscetibilidade a desastres naturais nos setores de risco;
- Fornecer subsídios técnicos, de forma a identificar e avaliar os riscos a escorregamento nos morros do município, considerando a ocupação desordenada das encostas da malha urbana.

CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MOVIMENTO GRAVITACIONAL DE MASSA

O Movimento de Massa é um termo geológico/geotécnico utilizado para explicar o processo de desprendimento de fragmentos de rocha e/ou solo das encostas. Ele pode ser causado por agentes exógenos ou endógenos. Dependendo das características da encosta pode ser lento ou muito rápido, podem ser de causas naturais, porém, a maior parte está relacionada à intervenção humana (VARNES, 1978).

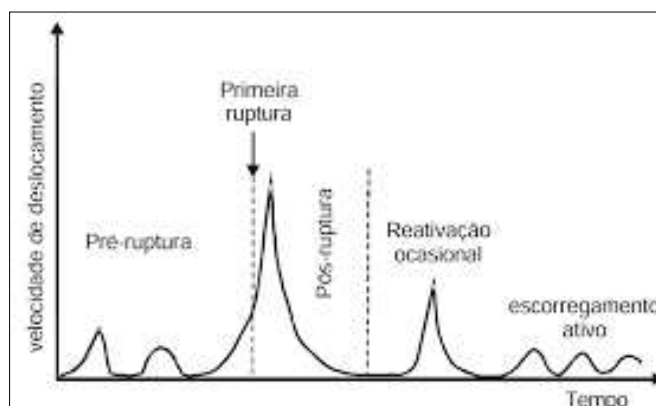
Esses movimentos, em especial os escorregamentos de terras, ocorrem em virtude da perda das condições de equilíbrio, ou seja, quando há um aumento nas forças solicitantes, acarretando na diminuição no fator de segurança (F.S.) de uma dada massa de solo, sedimentos ou rochas, pertencente a um talude natural ou artificial. Assim, os elementos responsáveis pelo aumento dessa solicitação são por exemplo: de origem geológica (presença de minerais argilosos expansivos e/ou colapsíveis, fraturamentos, etc.); de origem geomecânicas (perda de coesão do solo, etc.); de origem climáticas (pluviosidade); de origem vegetal (árvores de alto porte, vegetação que retém muita água nas suas raízes, etc.); de origem antrópicas (sobrecarga, falta de drenagem adequada, cortes e aterros inadequados, vibrações provocadas por explosões e tráfego de veículos pesados, etc.) e dentre outros (PFALTZGRAFF, 2007).

De acordo com Leroueil et. al. (1996), esses movimentos de massas podem ser analisados quanto a sua evolução, essa evolução é dividida em 4 estágios (Figura 1), são eles:

- **Estágio de pré-ruptura:** Esse estágio inclui todos os processos de deformação que podem ocasionar a ruptura.
- **Estágio de ruptura:** Nessa fase é possível observar a formação de uma superfície contínua de cisalhamento na massa de solo, sendo considerado o estágio mais significativo na história do movimento de massa.

- **Estágio de pós-ruptura:** É observado um aumento da razão de deslocamento e uma diminuição graduada na velocidade. Durante esse estágio é possível observar a participação da massa de solo ou rocha, desde a ruptura até o termino da movimentação.
- **Estágio de reativação:** Nessa ocasião a massa de solo desliza ao longo de uma superfície preferencial de ruptura pré-existente.

Figura 1. Estágios dos movimentos de massa



Fonte: Leroueil et. al. (1996)

2.1.1 Classificação dos movimentos de massas

Há na literatura diversas análises sobre os movimentos de massa, porém dentre todas essas análises os que se destacam são os estudos elaborados por Cruden e Varnes (1996) e Varnes (1978), pois apresentam uma maior aceitação no âmbito acadêmico (BANDEIRA, 2003).

A classificação dos movimentos de massas proposta por Varnes (1978), é utilizada em grande parte do mundo, pois leva em consideração o tipo de material transportado (rocha, solos e detritos) e o tipo de movimentação executado (quedas, tombamentos, escorregamento, espalhamentos, corridas/escoamentos) (CRUDEN E VARNES, 1996). Essa classificação proposta por Varnes (1978), é apresentada no Quadro 1 abaixo.

Quadro 1. Classificação dos movimentos de massa

TIPO DE MOVIMENTO	TIPO DE MATERIAL		
	ROCHA	SOLO (ENGENHARIA)	
		Detrito	Terra
Queda(<i>Fall</i>)	Queda de rocha	Queda de detritos (<i>debris</i>)	Queda de solo
Tombamento (<i>Topple</i>)	Tombamento de rocha	Tombamento de detritos (<i>debris</i>)	Tombamento de solo
Escorregamento (<i>Slide</i>)	Escorregamento de rocha	Escorregamento de detritos (<i>debris</i>)	Espalhamento de solo
Espalhamento (<i>Spread</i>)	Espalhamento de rocha	Espalhamento de detritos (<i>debris</i>)	Espalhamento de solo
Corrida ou Escoamento(<i>Flow</i>)	Corrida de rocha	Corrida de detritos (<i>debris</i>)	Corrida de lama

Fonte: Bandeira (2003)

Varnes (1978) explica que cada movimento possui sua característica própria, e são caracterizados da seguinte forma:

- **FALLS (QUEDAS):** Uma queda começa com o descolamento do solo ou da rocha de uma encosta íngreme ao longo de uma superfície na qual ocorre pouco ou nenhum deslocamento de cisalhamento. O material desce em grande parte através do ar, caindo, saltando ou rolando. Sendo quedas/desabamento um movimento brusco, com velocidades altas, estando ligado de forma condicionante a litologia e estrutura do material, geral queda de rocha sedimentares e detritos, tendo uma geometria variável de lascas placas, blocos etc. Podendo está associada a tombamento e a rolamento matacão.
- **TOPPLE (TOMBAMENTO):** A inclinação é a rotação para frente, fora da inclinação, de uma massa de solo ou rocha em torno de um ponto ou eixo abaixo do centro de gravidade da massa deslocada. Movimento condicionado à ação da água e/ou gelo em planos de fraqueza inerentes do maciço de rocha, definido a partir da dinâmica do movimento onde a rotação de bloco ou rocha em torno de um ponto abaixo do centro de gravidade.
- **SLIDES (ESCORREGAMENTO):** Um escorregamento é o movimento descendente de um solo ou massa rochosa que ocorre predominantemente em superfícies de ruptura ou zonas relativamente finas de tensão de cisalhamento intenso. São movimentos rápidos ao longo de uma superfície, de ruptura bem

definida, ocorre quando as tensões cisalhantes se igualam a resistência ao cisalhamento.

- *SPREADS* (ESPALHAMENTO): Um espalhamento é uma extensão de um solo coeso ou de uma massa rochosa combinada com uma diminuição geral da massa fraturada de material coesivo em material subjacente mais macio. A superfície de ruptura não é uma superfície de cisalhamento intenso. Podem resultar de liquefação ou fluxo (e extrusão) do material mais macio.
- *FLOW* (CORRIDAS): Um fluxo é um movimento espacialmente contínuo, no qual superfícies de cisalhamento são de curta duração, espaçadas e, em geral, não preservadas. A distribuição das velocidades na massa deslocada assemelha-se à de um fluido viscoso devido ao teor de umidade.

2.1.2 Escorregamentos de terras (*Slides*)

Os escorregamentos de terras são movimentos ocorrem, em grande parte, pela atenuação das forças resistentes da encosta e aumento da ação de forças solicitantes, que podem ser provocados pela: variação do nível freático; alteração da geometria do talude (cortes e aterros); agentes erosivos; ações antrópicas (construções, lixo, etc); e ocorrência de abalos sísmicos (OLIVEIRA, 2019).

De acordo com Augusto Filho (1992), um dos processos de movimentos de massa mais importante a ser estudado, devido a sua interferência com as atividades antrópicas, a complexidade de causas e mecanismos, a variabilidade dos materiais envolvidos e a variância de sua escala, muitas vezes, estão associados, pois o início da corrida está vinculado à ocorrência de um deslizamento anterior (GUIDICINIE NIEBLE, 1984; IPT, 1991; SELBY, 1993).

Na elaboração de mapas de risco no Brasil, a classificação proposta por Augusto Filho (1992) é um referencial para descrição dos principais tipos de movimentos de massa associados às encostas, onde se apresenta parâmetros das características dos movimentos, materiais e geometria mobilizada. Sendo os processos apresentados agrupados em quatro classes: Rastejos (*creep*), Escorregamentos (*slides*), Quedas (*falls*) e Corridas (*flows*).

2.1.3 Fatores deflagradores dos escorregamentos

A ocorrência de processos condicionante de movimento de massa está relacionada com o agrupamento de diversos fatores, como pluviometria, declividade e forma das encostas, características geológicas, grau e o tipo de interferência antrópica (LIMA, 2002).

Segundo Cruden e Varnes (1996) as ações que provocam os deslizamentos de massa, podem ser provenientes de quatro causas: geológicas, morfológicas, físicas e antrópicas, essas causas com as suas respectivas peculiaridades estão apresentadas no Quadro 2

Quadro 2. Classes de causa de deslizamento de encostas

CAUSAS GEOLÓGICAS	CAUSAS MORFOLÓGICAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Perfil geotécnico / materiais problemáticos: sensitivo, colapsível, plástico / mole; ▪ Orientação desfavorável da descontinuidade de massa (clivagem, acamamentos, xistosidades, falhas, contatos sedimentares); ▪ Contraste na permeabilidade e seus efeitos na poro-pressão; ▪ Contraste na rigidez (material denso sobre material plástico); ▪ Material de preenchimento de juntas alteradas (fissuras). 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Geometria, declividade e forma da encosta / relevo; ▪ Atividades geológicas: terremotos, vulcanismo, etc.; ▪ Depósito de carregamento no topo do talude; ▪ Remoção da vegetação (por erosão, queimadas, secas); ▪ Erosão fluvial no pé do talude / erosão na face do talude; ▪ Erosão subterrânea (“pipping”).
CAUSAS FÍSICAS	CAUSAS ANTRÓPICAS
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Chuvas intensas em períodos curtos; ▪ Chuvas intensas de longa duração; ▪ Inundações ▪ Terremotos; ▪ Contração e expansão de solos expansivos. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escavação na base da encosta ▪ Sobrecarga na encosta ou no topo ▪ Remoção vegetal; ▪ Vibração artificial (incluindo tráfego, máquinas pesadas); ▪ Falta de manutenção de drenagem; ▪ Vazamento de rede de abastecimento (água e esgoto)

Fonte: Cruden e Varnes (1996)

Ainda segundo Varnes (1978), é possível agrupar os fatores deflagradores dos movimentos de massa em dois grupos: os que aumentam as solicitações, e os que diminuem a resistência ao cisalhamento, como é possível observar no Quadro 3.

Quadro 3. Fatores deflagradores dos movimentos de massa

AÇÃO	FATORES	FENÔMENOS GEOLÓGICOS/ANTRÓPICOS
AUMENTO DA SOLICITAÇÃO	REMOÇÃO DE MASSA (lateral ou da base)	– Erosão, escorregamentos – Cortes;
	SOBRECARGA	– Peso da água de chuva, etc; – Depósito de material – Peso da vegetação – Construção de estruturas, aterros, etc.
	SOLICITAÇÕES DINÂMICAS	– Terremotos, ondas, etc; – Explosões, tráfego, sismos induzidos;
	PRESSÕES LATERAIS	– Água em trincas, congelamento, material expansivo;
REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA	CARACTERÍSTICAS INERENTES AO MATERIAL (textura, geometria, estruturas, etc.)	– Características geomecânicas do material, tensões iniciais;
	MUDANÇAS OU FATORES VARIÁVEIS	– Intemperismo → redução da coesão, ângulo de atrito; – Elevação do nível d'água – Aumento da umidade com redução da sucção.

Fonte: Varnes (1978)

2.1.3.1 A chuva e os escorregamentos

Segundo Bandeira (2003), as chuvas atuam como o principal agente desestabilizante das encostas. Grande parte dos movimentos de massas ocorridos nos últimos anos, tem grande relação com os eventos pluviométricos. As águas das chuvas aumentam o nível das águas freáticas produzindo uma diminuição da pressão efetiva, culminando na produção de forças de percolação; preenchem os espaços vazios (trincas, fissuras e/ou fendas) gerando pressões hidrostáticas, e em outros casos gerando o artesianismo, podendo gerar rupturas hidráulicas; além do acréscimo na umidade de solos não saturados, diminuindo a resistência (coesão aparente) dos mesmos. De acordo com

Pfaltzgraff (2007), as águas pluviais atuam de duas formas sobre o processo de deslizamento das encostas, são elas: ação progressiva e ação instantânea. Na ação progressiva há um aumento paulatino na quantidade de água no solo ocasionado pelas chuvas do tipo contínuas e de pouca intensidade. Essas águas elevam o peso específico do solo, levando a diminuição das forças resistentes do solo (coesão, resistência a compressão e cisalhamento). Por outro lado, a ação instantânea é provocada por chuvas fortes e de curta duração, que provocam: a elevação de forma abrupta do nível d'água ou do lençol freático; erosão; diminuição das forças resistentes do solo de forma inesperada.

2.1.3.1.1 Correlação entre chuvas e deslizamentos

A ideia da correlação é encontrar um índice pluviométrico crítico que leve a deflagração dos movimentos de massas das áreas de risco, e assim alertar aos moradores sobre a possibilidade da ocorrência dos movimentos de massas, evitando danos sociais e econômicos maiores. Pensando nisso muitos pesquisadores tentaram encontrar relações experimentais entre os deslizamentos e a pluviosidade (BANDEIRA, 2003). Atualmente sistemas operacionais desenvolvidos pelo INPE com o objetivo de monitorar o risco de ocorrência de desastres naturais em uma determinada área mapeada pode-se através de software como TerraMA² (Terra Modeling, Analysis and Alert) , gerar alertas de situações de risco iminente.

Partindo desta ideia, nos Estados Unidos da América (EUA), Schuster & Kockelman (1996), desenvolveram uma técnica de alerta utilizando a ligação entre a pluviosidade e os escorregamentos ocorridos. Para a elaboração desta técnica os autores levaram em consideração: as interações existentes entre a intensidade e o tempo de duração da chuva, essas interações podem ser empíricas como também teóricas; as propriedades geológicas das áreas analisadas; e dados de equipamentos pluviométricos e do serviço nacional de meteorologia.

No Brasil, estudos realizados por Tatizania et. al., (1987) na cidade de Cubatão – SP, obtiveram uma fórmula capaz de prever a intensidade pluviométrica necessária para o desencadeamento dos movimentos de massas. No entanto, esta fórmula é válida apenas para a área estudada, já que foram elaboradas levando em consideração as características locais da região. Para a obtenção da fórmula a autora correlacionou a quantidade de chuvas com os deslizamentos ocorridos na região estudada (PFALTZGRAFF, 2007).

A equação proposta por Tatizania et. al., (1987) é apresentada abaixo.

$$I(AC) = k \cdot Ac^{(-0.933)}$$

Onde:

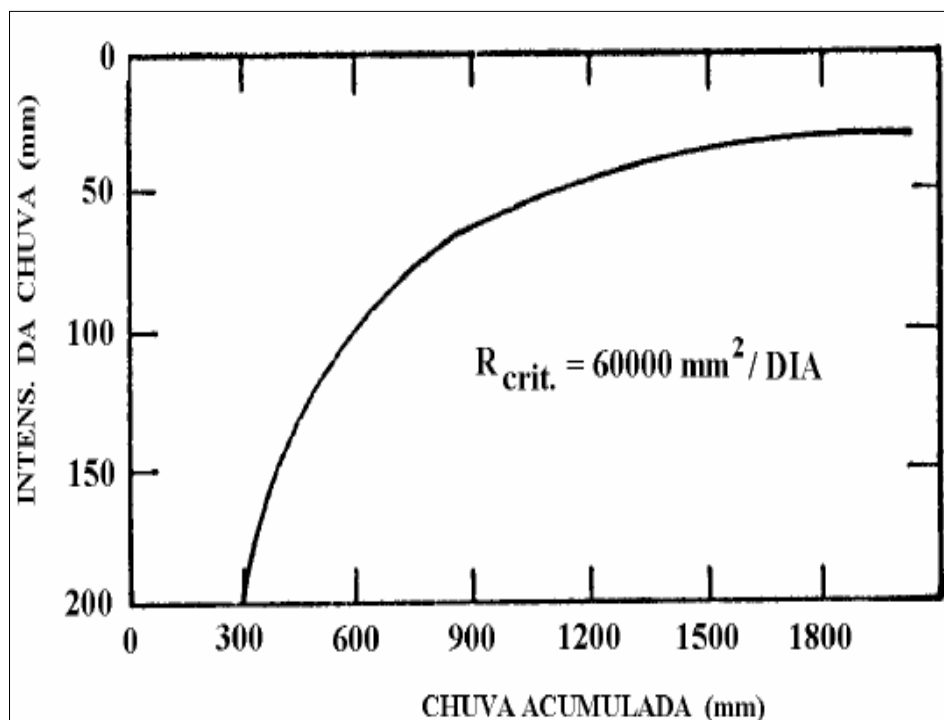
- I = Intensidade suficiente para desencadeamento;
- K = Parâmetro que depende das condições geotécnicas da encosta e da intensidade de deslizamentos;
- Ac = Chuva acumulada nos quatro dias anteriores.

Apesar da simplicidade e do baixo custo dessas correlações na previsão dos escorregamentos em relação a outros métodos, é importante salientar que esses métodos não impedem a ocorrência dos deslizamentos, no entanto eles servem para alertar os órgãos responsáveis e a população sobre o grau de risco da área observada (LIMA, 2002).

2.1.3.1.2 Exemplo de correlação entre chuvas e deslizamentos na RMR (Região Metropolitana do Recife)

Estudos realizados por Gusmão Filho (1997), no estado de Pernambuco, nos morros da cidade de Olinda, apontou que a estabilidade do talude (encosta) é afetada negativamente pela variação do nível d'água. O estudo observou que a diminuição da resistência da encosta é proveniente do somatório entre a intensidade de chuva acumulada, ocorrida do mês de janeiro até a data escolhida, nomeada de "Pac", com a ocorrência de um índice pluviométrico diária de intensidade mínima, nomeada de "I" na data em questão. O produto entre o "Pac" e o "I" é o parâmetro "R", logo "R=Pac x I". O parâmetro designa o produto da chuva de 24 (vinte e quatro) horas pelo somatório de todas as chuvas até a data do evento. Para a região em questão foi encontrado um valor de R=60.000 mm² para a ocorrência do evento, a Figura 2 mostra os valores obtidos no estudo.

Figura 2. Correlação entre a Intensidade da Chuva e a Chuva Acumulada para as Encostas da Formação Barreiras da Cidade do Olinda – PE



Fonte: Gusmão Filho (1997)

2.1.3.2 Ações e/ou fatores antrópicos

Bandeira (2003) define ação antrópica como sendo toda interferência provocada pelo ser humano no ambiente, como por exemplo: retirada da cobertura vegetal; construções de estradas, casas; cortes e aterros inapropriados; e etc. Tais ações são caracterizadas pela necessidade de transformar o meio para satisfazer as suas necessidades. Sendo estes contribuintes para o escorregamentos de terras. Neste aspecto, os escorregamento de terra muitas vezes associados á descarte de lixo e entulho; lançamento de águas servidas e esgotos sobre a encosta potencializa o risco e vulnerabilidade do local.

Na Região Metropolitana do Recife, é observado que existe um forte vínculo entre as ações antrópicas e o risco ao deslizamento. Os inúmeros deslizamentos ocorridos na

RMR são provenientes, principalmente, das ações antrópicas, ou seja, das ações humanas sobre as encostas dos morros (BANDEIRA, 2003).

As Figuras 3, 4 e 5 abaixo exemplificam algumas das ações antrópicas mais comuns, observadas na maioria dos morros ocupados.

Figura 3. Despejo de águas servidas diretamente na encosta



Fonte: Oliveira (2019)

Figura 4. Deposição de lixo e entulho sobre a encosta



Fonte: Oliveira (2019)

Figura 5. Construções sobre as encostas dos morros



Fonte: Oliveira (2019)

Nas Figuras 3,4 e 5 apresentadas anteriormente, é possível observar inúmeras ações provocadas pelo homem na paisagem natural, ações essas que tornam as encostas mais suscetíveis aos deslizamentos de terra. Na Figura 4, é possível observar tubulações de águas servidas sendo lançadas diretamente no corpo da encosta propiciando o surgimento de erosões, a perda de coesão entre as partículas dos solos, etc. Já na Figura 4, outra situação muito comum nos morros é o lançamento de lixo e entulho sobre as encostas, ocasionando a sobre carga, além da retenção de águas, provocando num aumento da sollicitação da encosta. E por fim, a Figura 5 apresenta ações inadequadas sobre as encostas, dentre elas é possível observar a presença de bananeiras, vegetação que retêm grande quantidade de água nas suas raízes, podendo ocasionar em situações adversas, outra observação são as edificações inadequadas sobre as encostas, que provocam a sobrecarga da mesma.

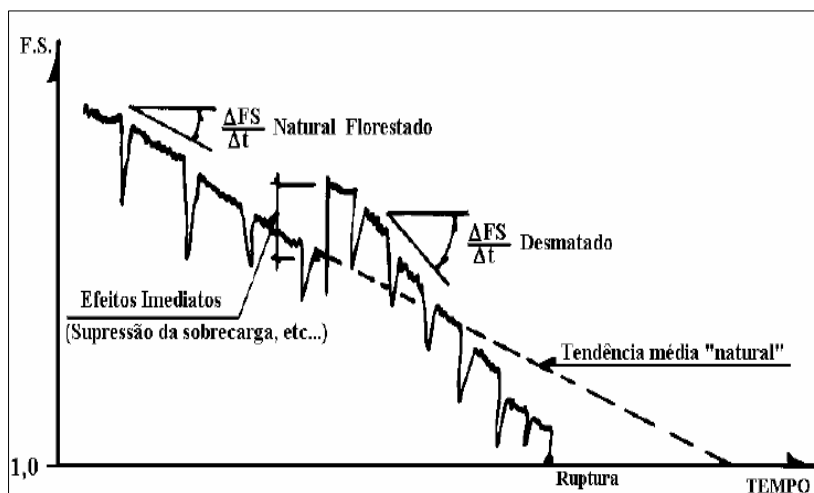
2.1.3.3 Ação da vegetação como agente estabilizador ou instabilizador de deslizamentos

Segundo Gray e Leiser (1982), a vegetação pode proporcionar impactos favoráveis ou desfavoráveis na estabilidade das encostas, isso vai depender do tipo de vegetação. Quanto aos efeitos favoráveis estão listados alguns a seguir: conferem um aumento na resistência ao cisalhamento e um aumento no suporte nas partículas do solo proporcionado pelas raízes; reduzem o choque das águas pluviais sobre o solo; e diminuem as águas do solo pela ação da evapotranspiração e impermeabilização. Por outro lado, alguns efeitos prejudiciais estão listados a seguir: efeito alavanca, efeito cunha sobre as encostas e o aumento da sobrecarga vertical, sobretudo pelas árvores de portes maiores.

Também de acordo com Araújo (2005), a estabilidade das encostas é diretamente ligada ao tipo de vegetação predominante e do tipo do processo de degradação, que a depender do tipo pode conferir influências negativas ou positivas.

De acordo com Silva (2007), a retirada da cobertura vegetal, de fato, confere um acréscimo na estabilidade das encostas e taludes devido a diminuição ou eliminação da sobrecarga e o efeito de cunha e alavanca, no entanto, com o passar do tempo, esse ganho de resistência diminui tornando-se insignificante devido ao apodrecimento das raízes e as erosões provocados pela retirada da vegetação. Esse efeito este retratado na Figura 6.

Figura 6. Variação esquemática proposta por Wolle (1986) do fator de segurança de uma encosta ao longo do tempo com e sem vegetação arbórea



Fonte: Wolle (1986)

Analisando a Figura 6 é possível perceber que em um primeiro momento, de fato, há um aumento considerável na estabilidade da encosta, mas com o passar do tempo essa estabilidade diminui drasticamente até a ruptura.

2.2 EROSÃO

A erosão, em certas ocasiões, é o primeiro passo para a instauração dos processos gravitacionais de massas, em especial os escorregamentos de terras, pois reduzem a resistência dos solos e rochas, aumentando a probabilidade da ocorrência desses eventos.

De acordo com Salomão e Iwasa (1995), o termo erosão designa o processo pelo qual os agentes erosivos deterioram e retiram ínfimos fragmentos dos solos e das rochas, remodelando as suas estruturas físicas. Esses agentes erosivos atuam, geralmente, em conjunto com a gravidade, são eles: a água; o vento, os microrganismos, as plantas; etc.

O processo erosivo é uma ação natural que atua modelando/modificando a superfície terrestre. No entanto, quando esse estado natural é desregulado, principalmente por ações humanas, geram danos, que muitas vezes são irreparáveis ao ambiente. Corroborando com isso, Iwasa e Fendrich (1998) explicam que o aumento desordenado da população, sobretudo nos centros urbanos, é o principal agravante dos problemas erosivos.

2.2.1 Erosão Hídrica Pluvial

Segundo Gomes (2001), essa erosão é decorrente da ação das águas pluviais que ao entrar em contato direto com a superfície acaba degradando a mesma. Essa degradação também pode ser denominada de erosão por embate.

Bandeira (2003), corrobora dissertando que o processo erosivo propiciado pelas águas das chuvas, é principiado pela transferência de energia, por contato, na forma de choque, na superfície exposta, desencadeando o rompimento das partículas da superfície em questão, como é exemplificado na Figura 7 abaixo. Posteriormente com o aumento da intensidade da chuva, há o processo de extração e mudança dessas partículas para locais de acúmulo e sedimentação.

Figura 7. Impacto de uma gota de chuva sobre o solo



1) Gota d'água instantes antes de atingir a superfície do solo.

2) Degradação das partículas da superfície devido ao impacto da gota d'água.

3) Pequenos fragmentos da superfície sendo lançadas nas mais diversas direções.

Fonte: Leins e Amaral (1987)

Ainda de acordo com Bandeira (2003), o processo erosivo pode ser de dois tipos: erosão laminar (ou em lençol) e erosão linear (ou em sulcos). Isso vai depender de como ocorre o escoamento superficial.

De acordo com Gomes (2001), o estabelecimento da erosão laminar (em lençol) ocorre com chuvas mais intensas, quando a superfície se encontra no estágio saturado. Essa erosão produz a remoção progressiva e uniforme das camadas mais superficiais do solo, devido ao escoamento da água em consequência da ausência de obstáculos no seu percurso.

Llopis Trillo (1999) explica que a erosão laminar é caracterizada pela retirada de finas camadas de solos, gerada pelo escoamento das águas. Essa erosão retira do solo grande quantidade de matéria orgânica, provocando a decadência de nutrientes e em alguns casos provocando a desertificação da área.

A erosão linear é produzida quando os fluxos das águas se concentram em linhas provocando caminhos preferenciais, que se aprofundam formando sulcos e posteriormente as ravinas (BANDEIRA, 2003).

As ravinas ou erosão por “*piping*” avançam para o interior do solo em forma de tubos, gerando vazios no solo, que posteriormente desestabilizam os solos, provocando o colapso do terreno alargando os espaços vazios, gerando as voçorocas, ou criando novos ramos (GOMES, 2001).

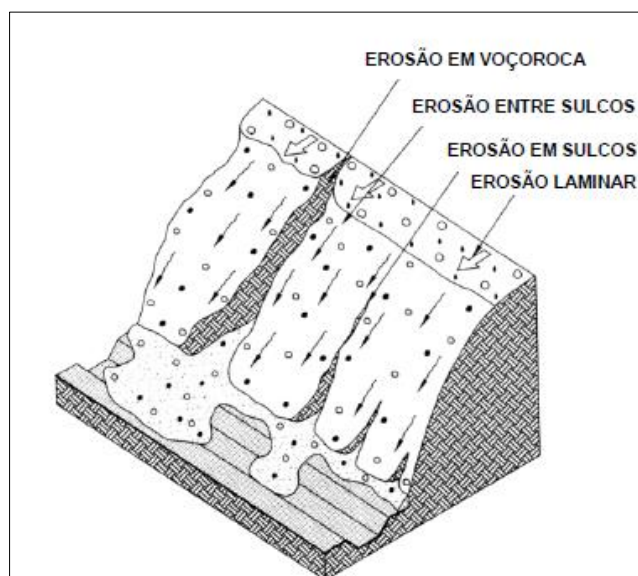
As voçorocas compreendem a etapa mais grave do processo erosivo, em alguns casos chegam a atingir o lençol freático (CUNHA, 1991). São as responsáveis pelo acontecimento de diversos eventos no solo, como: solapamento, escorregamentos, desabamentos, etc (SALOMÃO e IWASA, 1995), como mostrado na Figura 8 abaixo.

Figura 8. Erosão devido a vazamento de tubulações de águas servidas



Fonte: Bandeira (2003)

A Figura 9 apresenta um esquema do processo de erosão hídrica por águas pluviais, segundo Llopis Trillo (1999).

Figura 9. Esquema do processo de Erosão Hídrica

Fonte: Llopis Trillo (1999)

Segundo Oliveira (1999) o que distingue uma ravina de uma voçoroca são as dimensões da incisão no terreno. As ravinas seriam incisões de até 50 cm de largura e de profundidade. Caso a erosão tenha incisões com valores acima dessa ela será classificada como voçoroca.

2.2.2 Fatores condicionantes que influenciam o processo de erosão

Existem diversos fatores que condicionam o processo erosivo, dentre os quais serão abordados os seguintes:

- A chuva;
- Ações Antrópicas;
- Cobertura vegetal;
- Relevo;
- Morfologia;
- Propriedades do Solo.

2.2.2.1 A chuva

A chuva é classificada como o principal agente percussor da erosão (MEIRA, 2008). A capacidade erosiva da chuva depende do volume da chuva, da intensidade pluviométrica, do momento e da energia cinética adquirida (BANDEIRA, 2003). Ela atua no processo de erosão mediante a ação do escoamento e da infiltração (GOMES, 2001).

O escoamento é caracterizado quando as águas escoam sob a superfície, nas seguintes formas: enxurradas de forma difusa, laminar ou concentrada; e com forças de arraste e de transporte variando de acordo com as características do terreno. Por outro lado, o processo de infiltração é caracterizado pelas águas que infiltram no terreno provocando a retirada de materiais no momento em que o solo se encontra saturado (GOMES, 2001).

2.2.2.2 Ações Antrópicas

De acordo com Bandeira (2003), as ações antrópicas geram danos à natureza como ao próprio homem, danos que na maioria das vezes são irreparáveis. E exercem um papel importantíssimo no processo de erosão. Dentre as diversas ações provocadas pelas ações humanas, destacam-se:

- Práticas agrícolas: monoculturas; culturas não perenes; plantio em encostas; cultivo intensivo; uso de máquinas e implementos agrícolas;
- Agropecuária: criação excessiva de animais em áreas de pastagem;
- Queimadas de materiais como vegetação, lixo, etc;
- Movimentos no escoamento natural das águas: barragens; aterros; alterações nos trajetos de cursos d'água; drenagem artificial;
- Atividades de mineração;
- Execução de obras: desmatamentos; movimentos de terra; áreas de empréstimos; impermeabilização; alterações no escoamento das águas.

2.2.2.3 Cobertura Vegetal

A cobertura vegetal protege o solo contra o processo de erosão, pois elas atuam no controle das águas pluviais reduzindo a perda de solo em até 1000 (um mil) vezes. (ARAÚJO et. al., 2005). Ela atua elevando a perda de água dos solos pelo processo da evapotranspiração e a infiltração, o que propicia a redução do escoamento da água sobre a superfície. Outro fator preponderante da ação da vegetação é a redução do impacto das águas das chuvas sobre o solo (GOMES, 2001).

Bertoni e Lombardi Neto (1985), descrevem que os principais feitos da cobertura vegetal são:

- Reduzem o impacto direto das gotas de chuva;
- Dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial;

- Aumento da capacidade do solo de infiltrar a água por meio dos poros produzidos pelas raízes das plantas;
- Ajuda no acúmulo de água, atrás da matéria orgânica produzida.

2.2.2.4 Relevo

O relevo exerce grande influência nos processos erosivos. As características do terreno, em especial a declividade e o comprimento da rampa, acarretam numa maior velocidade no escoamento da água, favorecendo um aumento no processo erosivo. Destarte, terrenos mais íngremes são mais suscetíveis aos processos erosivos (MOTA, 1997).

2.2.2.5 Morfologia


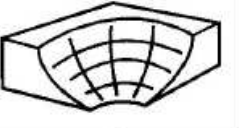
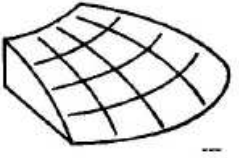
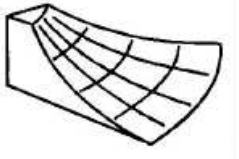
Assim como a declividade e o comprimento dos terrenos, a sua morfologia (formato) exerce grande influência nos processos erosivos.

Os perfis e curvas de níveis do tipo convexas são menos suscetíveis aos processos erosivos, pois o distanciamento das linhas de fluxos atenua o gradiente hidráulico. No entanto, encostas de perfis e curvas de níveis côncavas são mais suscetíveis, pois os fluxos seguem na mesma direção, ou seja, são convergentes, elevando as forças de percolação, responsáveis pelo início dos movimentos (AZAMBUJA et al., 2001).

A Figura 10 a seguir apresenta a classificação espacial das encostas ao tipo de perfil e de processos superficiais operantes.

Figura 10. Classificação espacial das encostas quanto ao tipo de perfil e de processos

superficiais operantes

CURVAS DE NÍVEL	PERFIS	
	PERFIL CONVEXO (encostas de rastejamento)	PERFIL CÔNCAVO (encostas de lavagem)
CURVAS DE NÍVEL CÔNCAVA (encostas coletoras de água)	a) 	b) 
CURVAS DE NÍVEL CONVEXA (encostas distribuidoras de água)	c) 	d) 

Fonte: Moreira e Pires Neto (1998)

2.2.2.6 Propriedades do Solo


Os processos erosivos e de infiltração tendem a variar de acordo com as características e/ou propriedades dos solos. Solos com maior erodibilidade tendem a ser mais suscetíveis ao efeito da erosão. A erodibilidade mede a capacidade de perda e transporte de partículas dos solos, pela atuação de um agente erosivo, em outras palavras, é a suscetibilidade do solo sofrer a ação da erosão (BANDEIRA, 2003).

A textura do solo também participa de forma atuante nos processos erosivos, solos com granulometria média são transportadas mais facilmente de que as outras (FARMER, 1993).

Solos rasos apresentam maior suscetibilidade a erosão, por outro lado, solos mais profundos apresentam uma menor suscetibilidade, pois acumulam mais águas reduzindo o escoamento de águas sobre a superfície. A matéria orgânica ajuda também retendo a água, impedindo o escoamento (GOMES, 2001).

O Quadro 4 a seguir representa o tipo de solo quanto a sua capacidade a erosão.

Quadro 4. Suscetibilidade à Erosão de Acordo com o Tipo de solo

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO DO SOLO	ERODIBILIDADE
GW	Pedregulho e mistura de pedregulho e areia, bem graduados, com poucos ou sem finos	Menos erodível  Mais erodível
GP	Pedregulhos e mistura de pedregulho e areia, mal graduados, com poucos ou sem finos	
SW	Areias e areias pedregulhosas, bem graduadas, com poucos ou sem finos	
GM	Cascalho siltoso, misturas de cascalho, areia e silte	
CH	Argilas inorgânicas de plasticidade elevada, argilas gordas	
CL	Argilas inorgânicas de plasticidade baixa ou média, argilas pedregulhosas, argilas arenosas, argilas siltosas, argilas magras	
OL	Siltes orgânicos, siltes e argilas orgânicas de plasticidade baixa	
MH	Siltes inorgânicos, solos arenosos finos ou siltosos micáceos e diatomáceos, solos elásticos	
SC	Areias argilosas,	
SM	Areias siltosas	
ML	Siltes inorgânicos e areias muito finas, pó-de-pedra, areias finas siltosas ou argilosas, e siltes argilosos pouco plástico.	

Fonte: Loppis Trilho (1999)

2.3 RISCO DE ESCORREGAMENTO

2.3.1 Conceitos e classificação de risco

Quanto ao conceito de risco, não há uma definição única na bibliografia, já que a maioria dos autores tem sua própria definição. Por outro lado, o termo risco pode ser associada ou até mesmo substituído erroneamente pelos termos apresentados a seguir: suscetibilidade, vulnerabilidade, sensibilidade, perigo, danos potenciais, etc (KOBIYAMA et al., 2006).

Para Gusmão Filho (2006), o risco pode ser definido como um evento, induzido ou não, potencialmente perigoso que possa gerar perda ou estrago ao ser humano, como também aos seus bens e ao meio ambiente.

Segundo Varnes et al. (1984), o risco pode ser descrito pela seguinte equação:
 $R_t = E \times H \times V$. ou $R_t = E \times R_s$

Onde:

- Risco Total (R_t): Representa a quantidade de perdas prováveis, perdas humanas, econômicas e/ou ambientais; devido a ocorrência de um evento natural induzido ou não induzido.
- Risco Específico (R_s): Exprime o grau previsto de perda em consequência de um episódio natural.
- Elemento sob Risco (E): São os elementos que estão presentes numa determinada área de risco, por exemplo: habitantes; imóveis; vias e ruas; etc.
- Perigo Natural (*Natural Hazard*) (H): Representa a hipótese do acontecimento de um dado evento perigoso, numa determinada região e período tempo.
- Vulnerabilidade (V): Retrata o grau de estrago ou arruinamento de um determinado componente ou vários componentes, devido a ocorrência de um evento natural e com um determinado nível de relevância. Onde pode ser apresentada numa escala de 0 (nenhum dado) a 1 (perda total).

Para Nogueira (2002/2006), o risco “R” pode ser descrito pela chance, possibilidade ou probabilidade da ocorrência de um determinado fenômeno físico ou um evento perigoso “A”, em uma área, em tempo e com características próprias (intensidade, dimensão, velocidade, processos e elementos envolvidos); provocando consequências “C” ou danos (humanos, ambientais e/ou econômicos), em virtude da indefensabilidade ou vulnerabilidade dos elementos presentes na referida área, no entanto esse grau de Risco pode ser alterado pelo grau de gerenciamento “g”. Essa definição de risco pode ser expressa pela seguinte equação: $R = P \times f(A) \times C \times f(V) \times g^{-1}$.

2.3.2 Termos relacionados ao Risco

2.3.2.1 Suscetibilidade (*Susceptibility*)

A suscetibilidade pode ser descrita como a probabilidade de acontecer um fato destrutor (ALHEIROS et. al., 2004). Como também, é a capacidade de um fenômeno produzir alterações no ambiente, excluindo o efeito sobre as realizações humanas (PFALTZGRAFF, 2007).

De acordo com Wiggers (2013), a suscetibilidade pode ser entendida como as características ou elementos particulares do ambiente, que tendem a elevar a

probabilidade de ocorrer episódios adversos em áreas que podem ser utilizadas, correlacionado com as classes de chances de probabilidade de o evento ocorrer.

De acordo com Pfaltzgraff (2007), a suscetibilidade ao deslizamento pode ser dividida em natural e a induzida, e ambas possuem características particulares. A primeira, a suscetibilidade natural, é analisada segundo os seguintes pontos:

- Propriedades geológicas e pedológicas;
- Características geomorfológicas (declividade, elevação, comprimento e perfil das encostas);
- Morfometria e arranjo espacial da rede de drenagem pertencentes à rede hidrográfica da região;
- Fatores climáticos (índice pluviométrico);
- Fatores biológicos (tipos, espécies, densidade e grau da vegetação).

Pfaltzgraff (2007) explica que a análise da suscetibilidade natural tem por finalidade a prevenção de acidentes, servindo como instrumento importante no modo de ocupação das regiões livres das ações antrópicas (suscetibilidade induzida).

A suscetibilidade induzida está atrelada a possibilidade da ocorrência de eventos geológicos, ocasionado pelas ações antrópicas, representadas pelas funções socioeconômicas numa determinada área (PFALTZGRAFF, 2007).

2.3.2.2 Vulnerabilidade (*Vulnerability*)

De acordo com Kobiyama et al. (2006), a vulnerabilidade está diretamente relacionada com as condições sociais e econômicas da população. Indivíduos com uma maior fragilidade social, baixa infraestruturas, baixo conhecimento e poder econômico, etc; apresentam uma vulnerabilidade, caso ocorra um evento perigoso.

Wiggers (2013) corrobora dizendo que a vulnerabilidade está atrelada as condições socioeconômicas da população, deste modo, dada a ocorrência de um desastre, as consequências provenientes do desastre sobre uma determinada população será variável.

2.3.2.3 Perigo (*hazard*)

O Perigo normalmente é conhecido pela sua capacidade de gerar consequência indesejável, ou seja, danos sociais, econômicos e/ou ambientais; é considerado como um

evento natural, que se dá em áreas e momentos previamente conhecidos (KOBİYAMA et al. 2006).

Dias (2002) explica que o perigo natural e a suscetibilidade podem ser considerados como sinônimos, já que o termo perigo está interligado a suscetibilidade, pois as localidades habitadas que apresentam grande probabilidade da ocorrência de eventos naturais, conferem perigo a população.

2.3.2.4 Áreas e/ou elementos de risco

São áreas, população, propriedades e atividades econômicas, passíveis de sofrerem processos e/ou eventos naturais, que são capazes de gerar vítimas e/ou perdas econômicas, oferecendo perigo para os habitantes, como por exemplo: inundação, movimentos gravitacionais de massas, etc (BEZERRA, 2016).

2.3.3 Processo de urbanização das encostas x risco geológico/geotécnico

O ambiente urbano é historicamente modificado, tendo o seu desenvolvimento se dado pelas interações contínuas entre uma sociedade dinâmica em espaço físico que evolui permanentemente (PEDROSA e ALVES, 2019). O crescimento urbano desordenado traz impactos negativos, que para o meio ambiente, são irreversíveis, tendo consequências indesejáveis a urbanização, onde muitas vezes esses têm sido maximizadas, ao invés de serem mitigados (PEDROSA E CAVALCANTI, 2019).

O ser humano é o maior agente transformador do meio ambiente, fato observado no ambiente ao redor (obras de saneamento, edifícios, barragens, etc). Suas ações podem ser observadas tanto nas paisagens rurais como nas urbanas. Seu domínio sobre a ciência e tecnologia lhe conferiram esse lugar de destaque (LIMA, 2002).

A urbanização como fator de transformação da sociedade, que produz impactos ambientais de forma direta pelas aglomerações humanas são, ao mesmo tempo, uma das resultantes do processo de transformações dinâmicas ligadas tanto ao meio ambiente quanto a sociedade (PEDROSA e ALVES, 2019).

Vale lembrar que, a resolução Nº 001, de 23 de janeiro de 1986, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - IBAMA (CONAMA), diz que;

[...] Impacto ambiental é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população; II - as atividades sociais e econômicas; III - a biota; IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; V - a qualidade dos recursos ambientais.

Dentro dessa conceituação da resolução sobre impacto ambiental, pode-se aferir dentro das perspectivas visuais de urbanização, nas áreas de morros urbanas, tem-se aproximado de condição a insustentabilidade e degradação ambiental, onde esses aspectos de padrão, são entendidos pela maioria da população. A ocupação desordenada, os costumes dos moradores e hábitos construtivos tornaram os terrenos mais instáveis apresentando riscos ao escorregamento.

2.4 Utilização de cartas e mapas para análise de suscetibilidade e risco

As cartas e mapas são de extrema relevância pelos dados do meio físico, biológico e antrópico de uma determinada área; constituindo como importantes bases de pesquisas, determinando áreas de risco e catalogando notáveis dados do espaço (região). Os mapas têm por função catalogar os dados, características, e/ou qualidades de um determinado elemento do meio ambiente, os mapas representam as informações (geográficas, naturais, culturais e artificiais) de uma certa extensão de terras da superfície. Já as cartas são caracterizadas por expor as concepções presentes nos mapas consoante a uma certa utilização, em outras palavras, as cartas são as interpretações dos modelos SIG gerados e associados de um determinado lugar do meio (BANDEIRA 2003).

Segundo Coutinho et al. (1990), a utilização de cartas e mapas no âmbito da Geotecnia se constituem importantes ferramentas no gerenciamento das ações humanas sobre uma determinada área. Permitindo produzir ações e obras de forma compatível com o as situações existentes no meio ambiente.

O estudo geotécnico por meio da utilização de mapas e cartas são de grande valia, pois antecipa como será o comportamento entre as ações humanas (antrópica) sobre o

meio físico; além de direcionar as medidas retificadores reduzindo os riscos e os problemas na utilização dessas áreas (PRANDINI, NAKAZAWA E FREITAS; 1992).

A identificação do grau de suscetibilidade e/ou de risco de uma determinada área da superfície por meio de mapas e cartas, é de extrema importância, pois proporciona que sejam adotadas ações mais eficazes para o uso e ocupação dessas áreas, evitando danos econômicos, sócias e/ou ambientais ainda maiores.

As cartas de suscetibilidades podem ser consideradas como cartas de cunho geotécnicos, sendo empregadas em projetos e execução de obras, permitindo um controle territorial. Para Lopes (2000) as cartas e mapas de suscetibilidades expressam os aspectos da região contribuindo para uma melhor administração na utilização do espaço. Bitar (1992) explica que nesses elementos cartográficos a suscetibilidade é representada por meio de categorias de probabilidade de acontecer o evento que se deseja demonstrar.

Os mapas de risco têm por objetivo apontar qual ação será adotada para frustrar a ocorrência dos acidentes. Essas informações podem ser apresentadas por dois tipos: por catalogação e por zoneamento de risco. Na catalogação são apresentados os elementos de risco e seus graus, já no zoneamento são demarcadas áreas com as mesmas características e graus de risco. A determinação dos graus de risco pode ser das seguintes formas: numérica (1, 2, 3, etc.), por recursos linguísticos (baixo, médio, alto, etc) e conjunto de cores (verde, amarela, laranja, etc) (BANDEIRA, 2003).

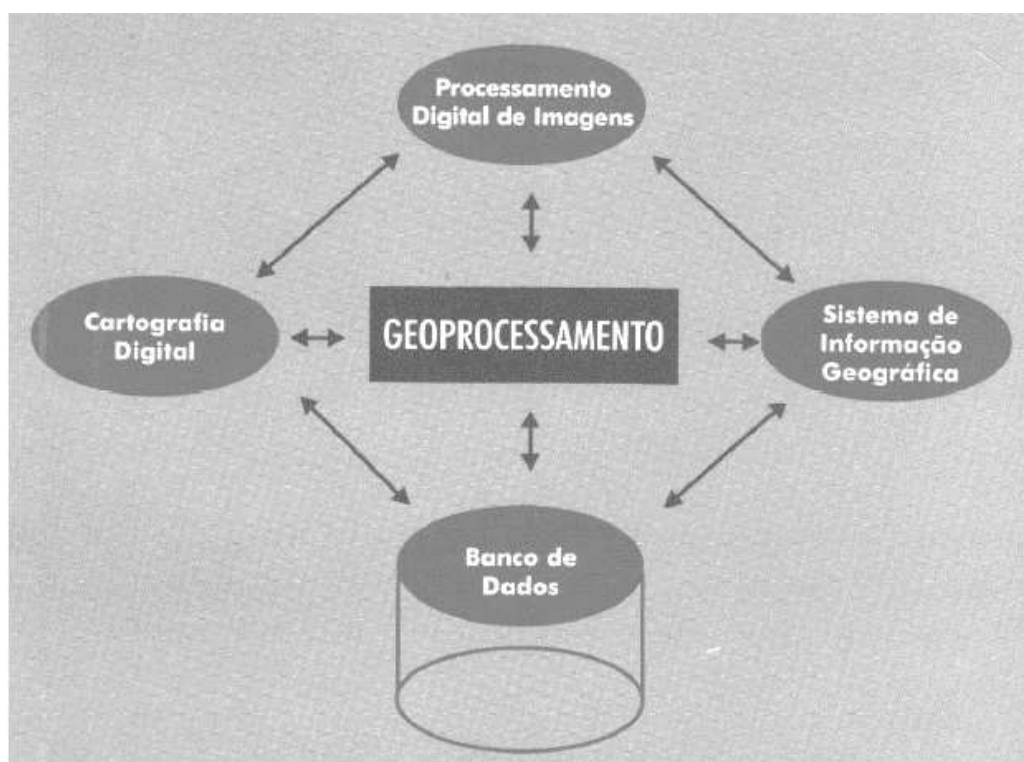
2.4.1 Ferramentas de Geoprocessamento utilizadas no mapeamento de áreas de risco

A utilização de mapas e cartas para a análise de risco e seus termos relacionados, são de grande importância. Atualmente com o avanço da tecnologia e com os adventos de novas ferramentas, é possível obter dados e informações rapidamente, permitindo a tomada de decisões de forma rápida e segura. O geoprocessamento é uma dessas ferramentas, com ela é possível a fácil aquisição e integração de dados, advindas de diversas origens, permitindo uma maior certeza no produto final.

O geoprocessamento é uma ferramenta que utiliza métodos matemáticos e computacionais no tratamento de dados geográficos da superfície terrestre. Se tornando uma importante ferramenta, presente em numerosas áreas da ciência (NASCIMENTO, 2004).

De acordo com Rosa (2013) o geoprocessamento é um grupo de ferramentas tecnológicas capazes de reunir e tratar dados espaciais, bem como produzir modernos sistemas e funcionalidades, com uma variada gama de complexidade, tendo ampla aplicação na cartografia digital, no tratamento digital de imagens e no SIG – Sistema de Informação Geográfica. Os diferentes usos do geoprocessamento, não interfere na forma em que os dados são processados, como é apresentado na Figura 11 abaixo.

Figura 11. Principais atividades envolvidas em Geoprocessamento



Fonte: Rosa (2013)

A obtenção, arrumação e confecção de mapas ficam a cargo da cartografia digital, no entanto, o tratamento (ou processamento) digital de imagens são os meios pelos quais ocorre a manipulação numérica de imagens digitais com o propósito de reparar eventuais erros, permitindo uma melhor observação das informações. Por outro lado, os SIG permitem a obtenção, estudo, modelagem e exibição de informações referenciadas espacialmente (ROSA, 2013).

2.4.1.1 SIG – Sistema de Informação Geográficas

De acordo Silva (2009), o SIG é um conjunto de instrumentos capazes de analisar dados espaciais associados as informações geográficas posicionais utilizando uma vasta gama de atributos.

O SIG também pode ser definido como um sistema que tem por finalidade a obtenção, retenção, análise, modelagem e exibição de informações referenciadas da superfície do planeta terra, permitindo a utilização de variadas tecnologias. De um modo geral, o SIG permite o desenvolvimento de tarefas complexas por meio da manipulação de elementos das mais diversas fontes (ROSA, 2013).

2.4.2 Programa de Geoprocessamento

Na atualidade, há diversos programas disponível com utilização do SIG, dentre eles é possível citar o QGIS e o ArcGIS. São inúmeras possibilidades de utilização dessas ferramentas, como por exemplo: planejamento urbanístico, estudos geográficos, etc.

O QGIS é um programa gratuito, produzido pela *Open Source Geospatial Foundation* - OSGeo. É um programa suportado por diversos sistemas operacionais, processando inúmeros tipos de vetores, imagens rasters e diversas bases de dados e funcionalidades. O software possui um grande número de funções e complementos, que permitem visualizar, organizar, modelar, e produzir mapas (QGIS, 2019).

Por outro lado, o ArcGIS programa de referência no mercado, pago, produzido pela Environmental Systems Research Institute – ESRI. O ArcGIS permite a utilização simultânea por outros usuários, devido a sua estrutura escalonada. É baseado em um conceito modular, pois os dados que podem ser compartilhados, os ArcObjects, são de forma facilitada processadas por outras aplicações, integrando o ArcGis (ESRI, 2001).

2.5 Metodologia para elaboração dos mapas de risco Geológicos/geotécnicos

Existem inúmeros métodos para análise de risco presente nas literaturas; esses métodos podem ser divididos em dois grandes grupos: qualitativos e/ou quantitativos. Os

métodos quantitativos expressam uma análise mais técnica, ou seja, menos sujeito a subjetividade, mais próxima da realidade, pois seus resultados são obtidos por meio de cálculos probabilístico e/ou obtidos por meios de instrumentos, no entanto, esses métodos possuem um alto custo. Por outro lado, os métodos qualitativos, são métodos simplificado eles são divididos em análises geomorfológicas (determinação direta no campo do perigo) e/ou a combinação qualitativa de mapas (da opinião de especialistas); baseados em experiências e análises táteis-visuais (AMORIM,2012). Esses métodos não apresentam um grau de certeza quando comparado aos quantitativos, porém apresentam uma boa correlação com a realidade, ao verificar em campo pontualmente o risco de cada local visitado.

2.5.1 Metodologia de Gusmão Filho et. al., (1992) para elaboração de mapa de risco e erosão e escorregamento

O método elaborado por Gusmão Filho et al. (1992), é considerado um método qualitativo baseado em análises táteis e visuais com a utilização de instrumentos simples. Esse método é bastante simplificado, pois não há a necessidade da realização de cálculos complexos e/ou probabilísticos. No entanto seus resultados são de caráter qualitativo, mesmo apresentando resultados numéricos variando de 1 (um) a 5 (cinco), os quais são atribuídos para cada fator de risco, como apresentado na Tabela 1 abaixo (BANDEIRA, 2003).

Tabela 1. Grau de Risco

TERMO LINGUÍSTICO	GRAU DE RISCO
Muito Baixo	1
Baixo	2
Médio	3
Alto	4
Muito alto	5

Fonte: Gusmão Filho et al. (1992)

De acordo com Bandeira (2003), para a utilização do método é necessário que a área a ser estudada seja dividida em setores com características de ocupação e infraestruturas semelhantes. Em seguida, é preenchida a ficha de levantamento dos fatores para avaliação do potencial de risco das encostas, apresentada na Tabela 2 abaixo. Esta

ficha tem a função de organizar os dados que serão coletados, considerando os fatores condicionantes topográficos, geológicos e ambiental, e os seus atributos relacionados.

Tabela 2. Ficha de levantamento dos fatores para avaliação do potencial de risco das encostas

FICHA PARA AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DE RISCO		
No. _____ Localização: _____ Avaliador: _____ Data: _____		
Fatores Topográficos		
Altura da encosta (m): (A) < 5 (B) 5 - 10 (C) 10 - 20 (D) 20 - 30 (E) > 30	Perfil da encosta: (A) Côncavo (B) Retilíneo (C) Convexo (D) Côncavo-convexo	Morfologia da encosta: (A) Côncava (B) Retilínea (C) Convexa (D) Côncava-convexa
Extensão da encosta (m): (A) < 100 (B) 100 - 250 (C) 250 - 350 (D) 350 - 500 (E) > 500	Declividade da encosta (%): (A) < 20 (B) 20 - 30 (C) 30 - 40 (D) 40 - 50 (E) > 50	OBS.:
Fatores Geológicos		
Litologia: (A) Solo residual (B) Saprolito (C) Fm. Cabo (D) Fm. Beberibe (E) Fm. Gramame (F) Fm. Barreiras (fluvial) (G) Fm. Barreiras (leque aluvial)	Textura: (A) Areno-argilosa (B) Argilo-arenosa (C) Arenosa/Argilosa (D) Argilosa/Arenosa (E) Topo arenoso (F) Topo argiloso	Estrutura: (A) Maciça (B) Mergulho oposto (C) Subvertical (D) Subhorizontal (E) Mergulho concordante
Evidências de movimento: (A) Ravinamento sup. (B) Rav. Prof. (C) Cicatrizes (D) Erosão no pé da encosta	(E) Voçorocas (F) Fendas (G) Surgências N.A. (H) Ausentes	OBS.:
Fatores Ambientais		
Vegetação (%): (A) 100 (B) 100 - 70 (C) 70 - 30 (D) 30 - 0 (E) Ausente	Drenagem: (A) Extensiva (B) Parcial (C) Insuficiente (D) Tópica (E) Inexistente	Cortes: (A) Próximo a crista (B) Próximo ao pé (C) Próximos (D) Desordenados (E) Em patamares
Densidade populacional (hab/ha): (A) < 100 (B) 100 - 200 (C) 200 - 300 (D) 300 - 500 (E) > 500	Tratamento: (A) Extensivo (B) Parcial (C) Insuficiente (D) Tópico (E) Inexistente	OBS.:

Fonte: Alheiros (1998)

Na Tabela 2, apresentada anteriormente, é possível observar os principais fatores que propiciam a instabilidade da encosta. O fator topográfico tem como atributos: altura, extensão, declividade e a morfologia da encosta. E para o fator geológicos os atributos

são: litologia, estrutura, textura e as evidências de movimentos presentes nos setores. Os atributos do fator ambiental são: densidade da vegetação presente na área, tipo de drenagem, tipo de cortes, densidade populacional e a presença de tratamentos; e seus atributos estão ligados, neste método, à suscetibilidade e à vulnerabilidade da área. Por fim, para estudar o fator meteorológico, é convencional que toda a área apresenta os mesmos índices pluviométricos. E para avaliar os riscos de cada fator separado, é necessário supor que estão sob condições de chuvas intensas (BANDEIRA 2003).

Preenchida a ficha apresentada na Tabela 2 anterior, é mensurado em campo e em escritório os valores dos atributos de acordo com as suas características. Para cada atributo é relacionado um grau de acordo com a Tabela 5 abaixo. Na Tabela 3 é apresentado o detalhamento dos atributos dos fatores por graus de risco (BANDEIRA, 2003).

Tabela 3. Detalhamento dos atributos por graus de risco

Graus de Riscos Atributos	Muito baixo 1	Baixo 2	Mediano 3	Alto 4	Muito alto 5
Fator Topográfico					
Altura (m)	< 5	5 – 10	10 – 20	20 – 30	> 30
Extensão (m)	< 100	100 – 250	250 – 350	350 – 500	> 500
Declividade (%)	< 20	20 – 30	30 – 40	40 – 50	> 50
Perfil	Côncavo	Retilíneo	Cônc. – Conv.	Convexo	Convexo
Morfologia	Convexa	Retilínea	Sinuosa	Côncava	Côncava
Fator Geológico					
Litologia	Calcário (Fm. Gramame)	Conglomerado (Fm. Cabo)	Solo Residual (Embas. Crist.)	Sedimentos (Fm. Beberibe)	Sedimentos (Fm. Barreiras)
Estrutura	Maciça	Merg. Oposto	Subhorizontal	Subvertical	Merg. Concord.
Textura	Arenosa	Areno-Siltosa	Areno-siltosa	Areno-argilosa	Areno-argilosa
Evidências	Ausentes	Ravinamento	Cicatrizes -	Cicatrises +	Fenda/Barriga
Fator Ambiental					
Vegetação (%)	100	100 – 70	70 – 30	30 – 0	Ausente
Drenagem	Extensiva	Parcial	Insuficiente	Tópica	Inexistente
Cortes	Isolados	Dispersos -	Dispersos +	Desordenados -	Desordenados +
Dens. Pop (hab/ha)	< 100	100 – 200	200 – 300	300 – 500	> 500
Tratamento	Extensivo	Parcial	Insuficiente	Tópico	Inexistente

Fonte: Alheiros (1998)

Em seguida são calculados os graus para cada fator, utilizando para isso a média aritmética dos valores de seus atributos, que foram atribuídos anteriormente. Após isso é calculado o grau de risco final para cada setor, usando a média aritmética ou ponderada dos valores obtidos da média dos atributos, ou seja, a média aritmética ou ponderada dos fatores, conforme a fórmula abaixo (GUSMÃO FILHO et al. 1993)

$$GRF_{ENC} = \left[\frac{(P1 * GRT) + (P2 * GRG) + (P3 * GRA)}{(P1 + P2 + P3)} \right]$$

Onde:

- **GRFENC:** grau de risco de cada setor de encosta;
- **GRT:** grau de risco topográfico (média aritmética dos atributos topográficos);
- **GRG:** grau de risco geológico (média aritmética dos atributos geológicos);
- **GRA:** grau de risco ambiental (média aritmética dos atributos ambientais);
- **P1, P2 e P3:** são respectivamente os pesos do fator topográfico, geológico e ambiental.

Por fim, através da Tabela 6 é apresentado os graus de risco finais para o Município do Recife (GUSMÃO FILHO et al. 1993). Nesta Tabela 4 é apresentado os intervalos números para a caracterização final do risco.

Tabela 4. Graus de risco finais para o Município do Recife

TERMO LINGUÍSTICO	GRAU DE RISCO	RISCO OBTIDO
Muito Baixo	1	< 1,74
Baixo	2	1,74 – 2,24
Médio	3	2,25 – 2,74
Alto	4	2,75 – 3,24
Muito alto	5	> 3,24

Fonte: Alheiros (1998)

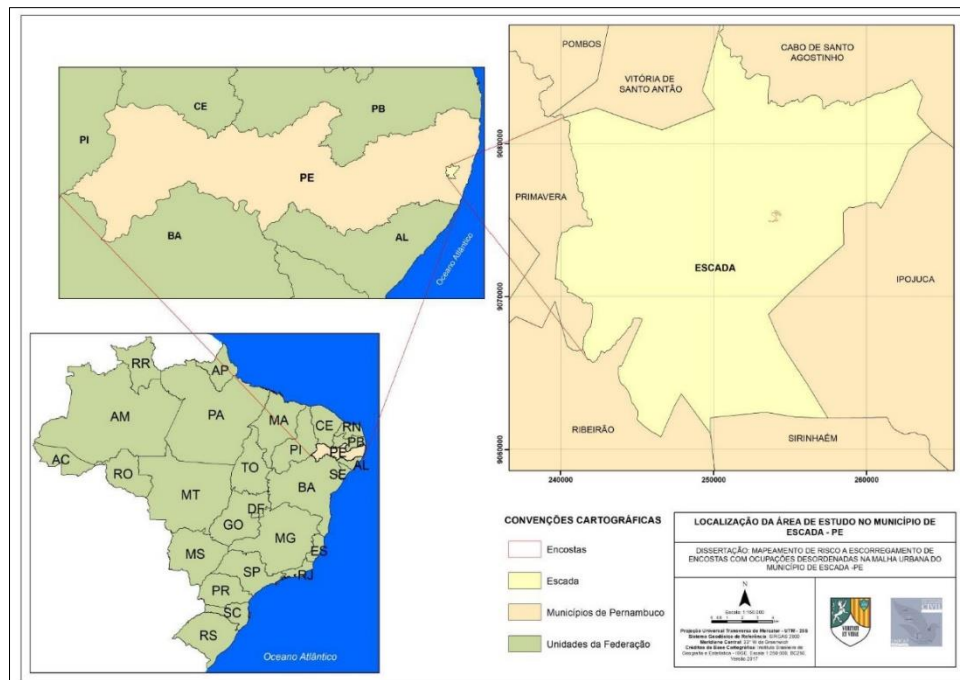
CAPÍTULO III – MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área de estudo

3.1.1 Localização

Localizado no estado de Pernambuco, o município compreende uma área aproximada de 342,201 Km² (IBGE, 2010). Tem por coordenadas geográficas os seguintes valores: Latitude 8° 21' 32" Sul; Longitude: 35° 13' 26" Oeste (CIDADE-BRASIL, 2019). O município pertence a Mesorregião Mata e na Microrregião Meridional do Estado de Pernambuco, é limitado pelos seguintes municípios: Cabo de Santo Agostinho, Vitória de Santo Antão, Sirinhaém, Ribeirão, Ipojuca e Primavera (CPRM, 2005). A Figura 12 a seguir representa a localização do município em relação ao estado de Pernambuco e ao Brasil.

Figura 12. Mapa de localização do Município de Escada-PE



Fonte: O Autor (2019)

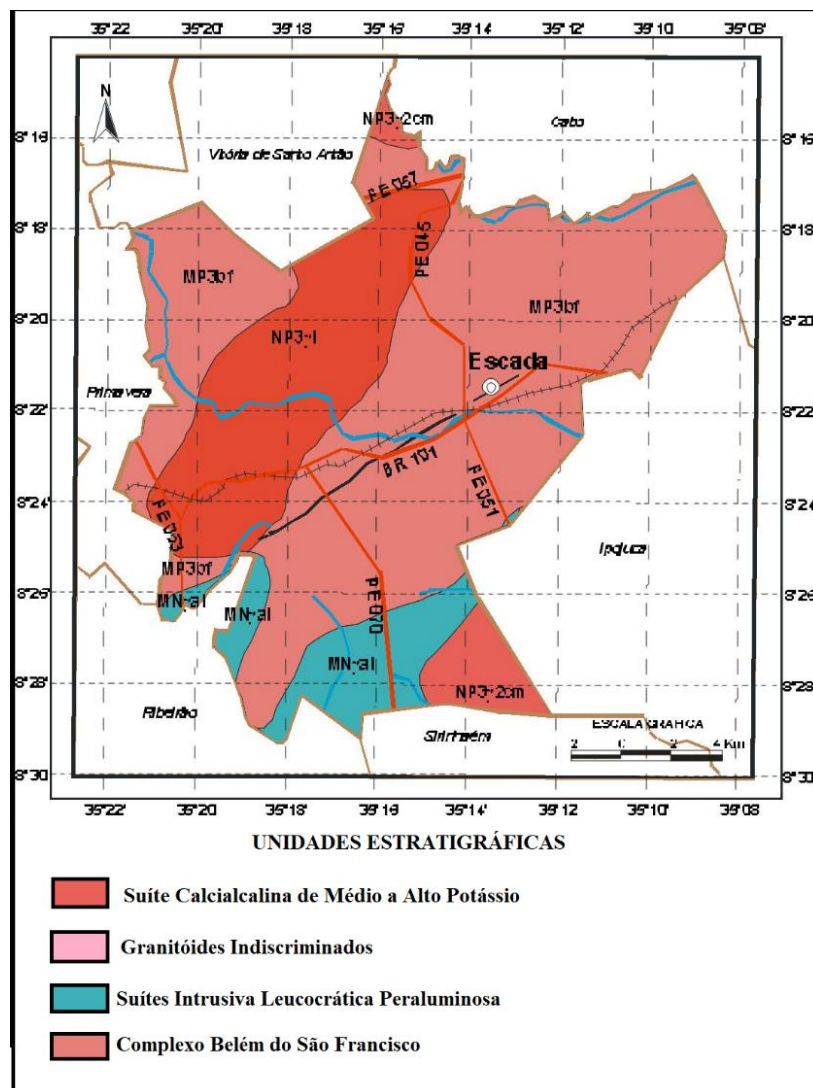
De acordo com o último censo demográfico elaborado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), o censo de 2017, a população calculada para o município de Escada-PE foi de 68.281 habitantes. Já para o último ano, o ano de 2018, a estimativa para o número de habitantes foi de 68.448 pessoas.

3.1.2 Aspectos Fisiográficos do município de Escada – PE

3.1.2.1 Geologia

Estudos realizados pela CPRM (2005) mostram que o município de Escada se situa sobre a Província Borborema, sendo composta pelas seguintes suítes litoestratigráficas apresentadas abaixo na Figura 13.

Figura 13. Mapa Geológico do município de Escada



Fonte: CPRM (2005)

- Suíte Calcicalcalina de Médio a Alto Potássio;
- Granitóides Indiscriminados: Neoproterozoico;
- Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa;
- Complexo Belém do São Francisco.

3.1.2.1.1 Complexo Belém do São Francisco

No Complexo Belém do São Francisco são encontradas as seguintes unidades mineralógicas: biotita ortognaisses tonalíticos/granodioríticos, leucocráticos de cor cinza, geralmente migmatizados e migmatitos com mesossoma quartzo diorítico/tonalítico a anfibólico e/ou biotita além de porções anfibolíticas. É possível encontrar também relíquias de rochas paraderivadas, calcários/mármore (ca), quartzitos (qt) e rochas calcissilicáticas (cs) (CPRM, 2005).

3.1.2.2 Relevô

O relevô do município de Escada é constituído por formações onduladas e vales profundos, consequência do retrabalhamento intenso que essas superfícies receberam (CPRM, 2005).

3.1.2.3 Solo

O município de Escada possui os seguintes tipos de solos: Latossolos, Podzólicos ou Argissolos e Gleissolos (CPRM, 2005).

Os Latossolos são solos que possuem elevado grau de intemperismo, bastante evoluídos que apresentam profundidades superiores a dois metros; não hidromórficos, apresentando boa permeabilidade; são constituídos por elementos minerais, com horizontes A, Bw e C. São encontrados sobre o embasamento cristalino e sobre a formação Barreiras (CPRM, 2003).

Os Argissolos são compostos por elementos minerais e argilas com baixa atividade; apresentam elevada profundidade com horizontes A, Bt e C ou A, E, Bt e C; são bem drenados e são do tipo não hidromórficos. Podem ser encontrados na parte superior das unidades cristalinas e sobre a Formação Barreiras e Cabo (CPRM, 2003).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA, os Gleissolos são solos que apresentam grande variabilidade em suas propriedades físicas,

químicas e morfológicas, em consequência do seu processo de formação. Possuem horizontes dos tipos: A ou Ag, Cg; A, Big, Cg; A, Btg, Cg; H (menor que 40 cm), Cg. São constituídos por elementos minerais, com presença de argilas, areias e argilas-arenosas, em certas ocasiões podem ocorrer resquícios de matéria orgânica. São hidromórficos, com pouca capacidade drenante; sofrem ação da umidade excessiva (duradoura ou passageira), consequência da proximidade com o lençol freático em alguns momentos do ano.

3.1.2.4 Vegetação

De acordo com a CPRM (2005), o município de Escada possui os seguintes tipos de vegetação: Floresta ombrófila (ou Subperenifólia) e Floresta hipoxerófila.

A floresta ombrófila, antes conhecida como floresta Subperenifólia, atualmente encontra-se praticamente devastada, restando poucas áreas. Presente em solos do tipo: Latossolos e Argissolos. Esse tipo de vegetação é caracterizado por apresentar uma formação densa, com variados tipos de espécie, e alturas entre 20(vinte) a 30(trinta) metros (ARAÚJO FILHO, 2009).

Floresta hipoxerófila, são formadas por árvores que variam de pequeno a médio porte, vegetação herbácea e arbusto com espinhos. Presentes em solos profundos que cobrem rochas de natureza sedimentar; e na maioria dos casos, em relevo plano (NASSIF, 2011).

3.2 Áreas selecionadas para a utilização do método

Para a avaliação do grau de risco a deslizamentos nas áreas de morros no município de Escadas – PE, foram selecionadas 5 (cinco) encostas, essas áreas estão apresentadas abaixo (Figura 14).

- Encosta 01 – Córrego da Paz (Nova Descoberta)
- Encosta 02 – Gruta do Vigário (Centro)
- Encosta 03 – Córrego da Carniça (Centro)
- Encosta 04 – Rua Valdemar Lima (Centro)
- Encosta 05 – Alto da Vitória (Centro)

Figura 14. Áreas de estudo

Fonte: O Autor (2019)

3.2.1 Análise Granulométrica e determinação do Índice de Plasticidade (IP)

Mediante a necessidade de expandir o conhecimento e o entendimento acerca do solo das cinco (5) encostas escolhidas, foram retiradas amostras de solos, conforme é apresentado nas Figuras 16 a 20, e efetuados ensaios em laboratório de granulometria e determinação do Índice de Plasticidade (IP).

A Figura 15 mostrada a seguir apresenta o momento da retirada da amostra de solo da Encosta 01 – Córrego da Paz, por meio da utilização do trado manual, e todo esse processo foi repetido para todas as outras encostas. Os perfis de solos foram divididos em camadas de acordo com a textura apresentada por cada uma, como é possível ser observado nas Figuras 16 a 20 abaixo.

Figura 15. Retirada de amostra da Encosta 01



Fonte: O autor (2019)

Figura 16. Amostras de solo da Encosta 01



Fonte: O autor (2019)

Figura 17. Amostra de solos da Encosta 02



Fonte: O autor (2019)

Figura 18. Amostra de solos da Encosta 03



Fonte: O autor (2019)

Figura 19. Amostra de solos da Encosta 04

Fonte: O autor (2019)

Figura 20. Amostra de solo da Encosta 05

Fonte: O autor (2019)

O ensaio granulométrico seguiu os parâmetros da Norma Brasileira (NBR) da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) a NBR 7181/2016. Essa norma tem por objetivo definir os parâmetros necessários para determinar a variação granulométrica dos grãos que compõem os solos; esse ensaio é realizado através do peneiramento e/ou da sedimentação.

A NBR 6459/2016 da ABNT determina os procedimentos básicos para a execução do ensaio para o Limite de Liquidez. Já NBR 7180/2016, fornece os procedimentos para a elaboração do ensaio do Limite de Plasticidade.

A determinação do Índice de Plasticidade (IP), foi calculado utilizando por base os resultados do ensaio de determinação dos limites de consistência, o Limite de Liquidez (LL) e o Limite de Plasticidade (LP). O IP representa a quantidade limite de água que um solo pode receber sem alterar suas propriedades, sua consistência plástica. É determinado através do seguinte cálculo: $IP = LL - LP$, e sua definição é feita por meio da Tabela 5 abaixo.

Tabela 5. Índice de Plasticidade

Índice de Plasticidade	Definição
IP = 0	Não plástico
$1 < IP \leq 7$	Pouco plástico
$7 < IP \leq 15$	Médio plástico
IP > 15	Muito plástico

Fonte: Caputo (1987)

As amostras de solos foram classificadas por meio do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (S.U.C.S.), esse sistema foi idealizado por Arthur Casagrande no ano de 1948, e é atualmente o sistema mais utilizado para a classificação dos solo na área geotécnica. Esse sistema classifica os solos de acordo com a curva granulométrica e os índices de consistência apresentada, dividindo-os em 3 (três) “grupos”, são eles:

- 1) Solos grossos – Pedregulhos e areias, partículas com diâmetros superiores a 0,075 mm, ou seja, mais de 50% das partículas são retidas na peneira #200.
- 2) Solos finos – Siltes e argilas, grãos com diâmetros inferiores a 0,075 mm, isto é, mais de 50% dos grãos passam na peneira #200.
- 3) Solos orgânicos e turfa – São indicados visualmente.

Por fim, através do fluxograma e da carta apresentada no Anexo A, as amostras de solos receberam a classificação unificada.

3.2.2 Análise de risco por meio da metodologia proposta por Gusmão Filho et. al. (1992)

A classificação do grau de risco das encostas deu-se por meio de técnicas de geoprocessamento, utilizando os parâmetros propostos por Gusmão Filho et. al. (1992). Foi utilizado o software ArcGis versão 10.1 para o processamento dos dados coletados como também para a geração dos mapas. Importante salientar que todos os dados foram gerados na Projeção Universal Transversa de Mercator – Fuso 25 S, e o sistema geodésico utilizado foi o SIRGAS 2000.

Os dados digitais utilizados neste trabalho para a elaboração das análises de risco foram obtidos através das seguintes plataformas listada abaixo:

- CPRM (Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais);
- Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias) – Brasil em Relevo;
- Google – Google Earth;
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística);
- TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil.

3.2.2.1 Fator Topográfico (P1)

Nessa etapa, inicialmente, trabalhou-se com as curvas de nível (Apêndice A) para a geração do Modelo Numérico do Terreno (MDT), em formato *raster* com os valores das altitudes para a área de análise. Esse processo consistiu na transformação de um arquivo vetorial com os valores das cotas das curvas de nível, utilizando-se de interpolação que leva em consideração o fator local da altimetria. Na imagem final obtida, cada pixel teve o tamanho de 5X5 metros em sua resolução espacial.

A partir do MDT, foi possível extrair os valores de declividade em porcentagem, como proposto no método de Alheiros (1998), com as seguintes classes: < 20% (muito baixo), 20-30% (baixo), 30-40% (mediano), 40-50% (alto) e maior que 50% (muito alto). Os dados de perfil foram delimitados de acordo com os dados da altimetria e a morfologia pelas curvas de nível da área.

As informações complementares para do fator ambiental como; drenagem, tratamento; corte, foram obtidos em visita ao campo e com a utilização de imagens de

satélite/Drone. Os resultados do grau de risco para os atributos do Fator Topográfico estão apresentados na Tabela 6. Lembrando que pela metodologia proposta por Gusmão Filho et. al. (1992), o fator topográfico possui os seguintes atributos: altura (m), extensão (m), declividade (%), perfil e morfologia da encosta.

Tabela 6. Notas dos atributos para o Fator Topográfico

ÁREA	ALTURA Grau	EXTENSÃO Grau	DECLIVIDADE Grau	PERFIL Grau	MORFOLOGIA Grau
1	5	3	1, 2, 3, 4 e 5	1, 2 e 4	4
2	5	1	1, 2, 3, 4 e 5	1, 2 e 4	4
3	5	2	1, 2, 3, 4 e 5	1, 2 e 4	4
4	4	1	1, 2, 3, 4 e 5	1, 2 e 4	4
5	4	1	1, 2, 3, 4 e 5	1, 2 e 4	4

Fonte: O autor (2019)

3.2.2.2 Fator Geológico (P2)

Para a obtenção do grau de risco geológico levou-se em consideração a Litologia (Apêndice B) e Estrutura da área, com as informações da Carta Geológica – Geofísica Integrada do Projeto Rio Capibaribe, elaborada pelo Serviço Geológico do Brasil, na escala de 1:250.000. Os dados de Textura e Evidências foram coletados em visita em campo e por meio da utilização de imagens de satélites.

Em cada camada de informação foi adicionada aos seus respectivos arquivos vetoriais para em seguida serem transformados para arquivo matricial, a fim de se conseguir obter a média aritmética com o grau de risco final de cada camada para cada encosta. O objetivo de se trabalhar com arquivos no formato matricial foi realizar a álgebra de mapas, efetuando-se a média aritmética, dentro de cada área, pixel a pixel, para se ter o resultado final.

Desta maneira foram obtidos para cada atributo do fator geológico (litologia, estrutura, textura e evidências) os seguintes graus de risco, conforme é apresentado na Tabela 7.

Tabela 7. Notas dos atributos para o fator geológico

ÁREA	LITOLOGIA Grau	ESTRUTURA Grau	TEXTURA Grau	EVIDÊNCIAS Grau
1	3	3	3	4
2	3	4	3	4
3	3	3	3	4
4	3	4	3	4
5	3	3	3	4

Fonte: O autor (2019)

3.2.2.3 Fator Ambiental (P3)

No fator de risco ambiental, as informações de vegetação, drenagem, cortes e tratamentos foram obtidas em visita em campo com o auxílio de *drone* e do *software Google Earth* para se adequar a escala de trabalho, uma vez que essas foram as imagens em que para o levantamento apresentam baixo custo e adequação as mais variadas escalas de trabalho. As informações de densidade populacional foram levantadas por meio do censo realizado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) no ano de 2010. A Tabela 8 abaixo, apresenta os resultados obtidos para cada atributo do fator ambiental de cada encosta, como também o seu grau final.

Tabela 8. Notas dos atributos para o fator ambiental

ÁREA	VEG. Grau	DRENAGEM Grau	CORTES Grau	DENSIDADE POPULACIONAL Grau	TRATAMENTO Grau
1	5	5	5	5	5
2	5	5	5	1	5
3	5	5	5	5	5
4	5	5	5	1	5
5	5	5	5	4	5

Fonte: O autor (2019)

3.2.2.4 Grau de risco final

No risco final foi utilizada a fórmula proposta por Gusmão Filho et. al., (1992), Alheiros (1998) e adaptada por Bandeira (2003). A álgebra de mapas foi realizada com base nos graus de cada risco (geológico, topográfico e ambiental) a fim de se ter um grau de risco final. De acordo com a metodologia, cada risco terá seu peso específico e nesse estudo, os pesos atribuídos foram, 2 para os riscos geológico e topográfico e 3 para o ambiental. Segue abaixo a fórmula utilizada como base para o grau final.

$$GRF = \left[\frac{(2 * GRT) + (2 * GRG) + (3 * GRA)}{7} \right]$$

Onde: **GRF** é o grau de risco final; **GRT** é o grau de risco topográfico; **GRG** é o grau de risco geológico e **GRA** é o grau de risco ambiental.

CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das amostras de solos

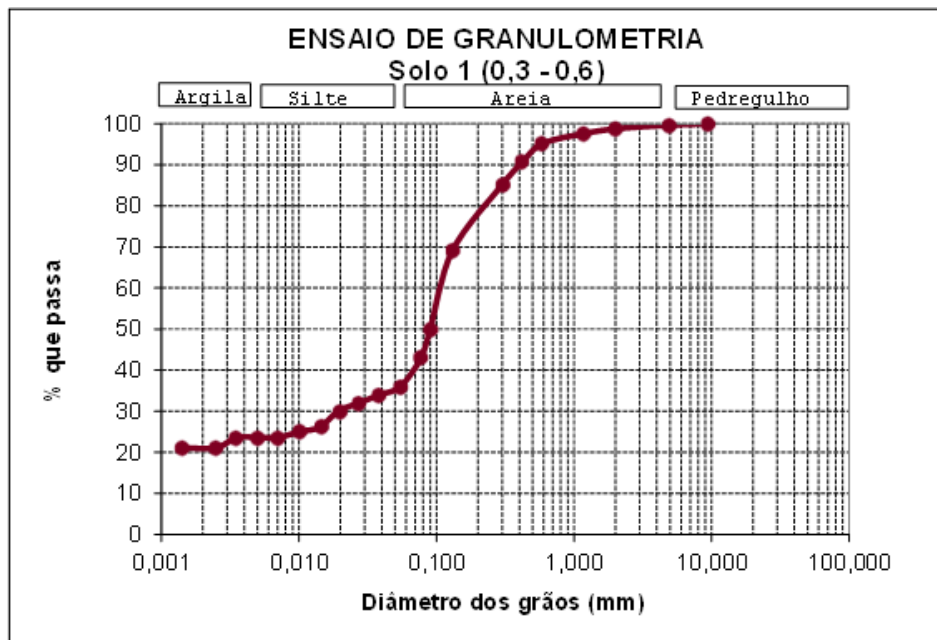
Os ensaios de caracterização foram elaborados seguindo fielmente as normas técnicas brasileiras vigentes, deste modo, os resultados encontrados estão apresentados nos subtópicos a seguir. As amostras de solos foram divididas em camadas de acordo com a textura apresentada, como é mostrado nas Figuras 16 a 20, apresentada anteriormente no Capítulo III no Item 3.2 desta dissertação.

4.1.1 Análise Granulométrica e Índice de Plasticidade (IP)

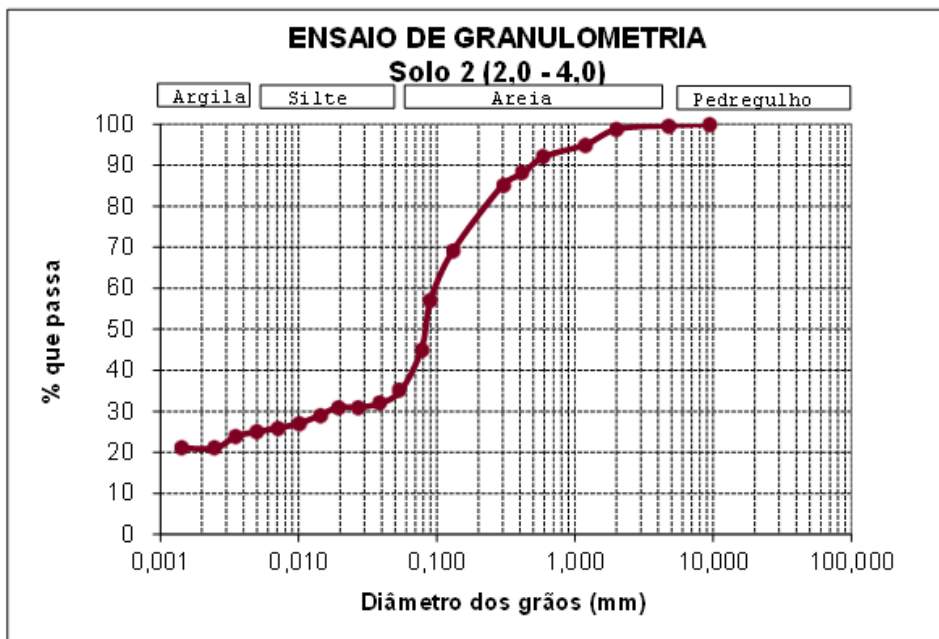
4.1.1.1 Encosta 01 – Córrego da Paz (Nova Descoberta)

As Figuras 21 e 22 a seguir apresentam as curvas granulométricas obtidas em laboratório das amostras retiradas da Encosta 01.

Figura 21. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 01



Fonte: O autor (2019)

Figura 22. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 01

Fonte: O autor (2019)

A Tabela 9 apresenta as frações do tipo de solo de cada camada, e a Tabela 10 os dados de consistência das amostras de solos da encosta em questão.

Tabela 9. Frações das amostras de solos da Encosta 01

Encosta 01 - Córrego da Paz				
Camada	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
Solo 1	23	15	62	0
Solo 2	25	10	65	0

Fonte: O autor (2019)

Tabela 10. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 01

Encosta	Camada	Limites de Consistência		Índice de Plasticidade	Definição do IP
		LL	LP		
Córrego da Paz	Solo 1	45%	26%	19%	Muito plástico
	Solo 2	56%	38%	18%	Muito plástico

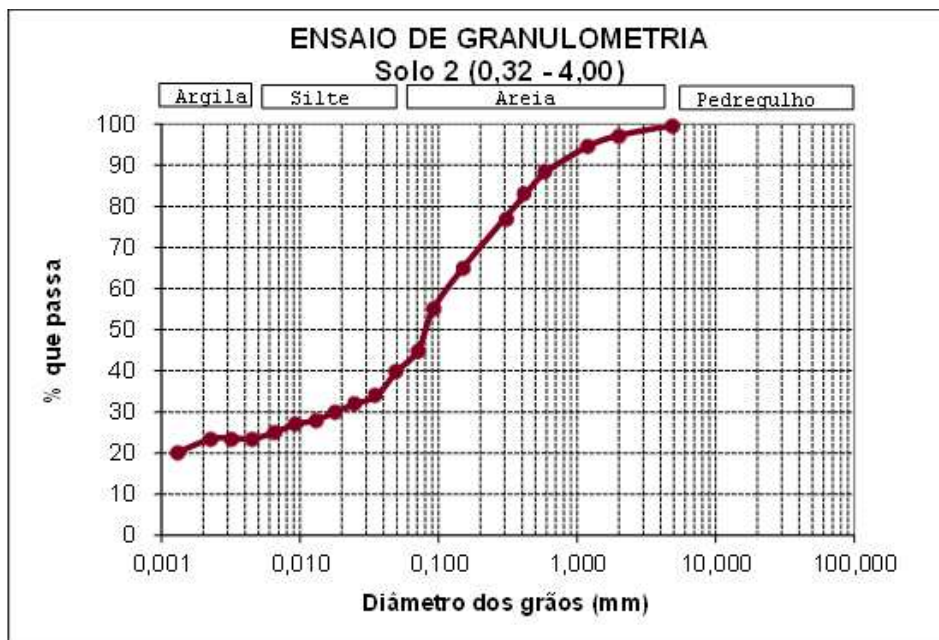
Fonte: O autor (2019)

4.1.1.2 Encosta 02 – Gruta do Vigário (Centro)

Para a amostra de solo, colhida da Encosta 02, foram obtidas as seguintes curvas granulométricas apresentadas nas Figuras 23 e 24.

Figura 23. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 02

Fonte: O autor (2019)

Figura 24. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 02

Fonte: O autor (2019)

A Tabela 11 apresenta as frações do tipo de solo de cada camada, e a Tabela 12 os dados de consistência das amostras de solos.

Tabela 11. Frações das amostras de solos da Encosta 02

Encosta 02 - Gruta do Vigário				
Camada	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
Solo 1	12	20	66	2
Solo 2	25	17	58	0

Fonte: O autor (2019)

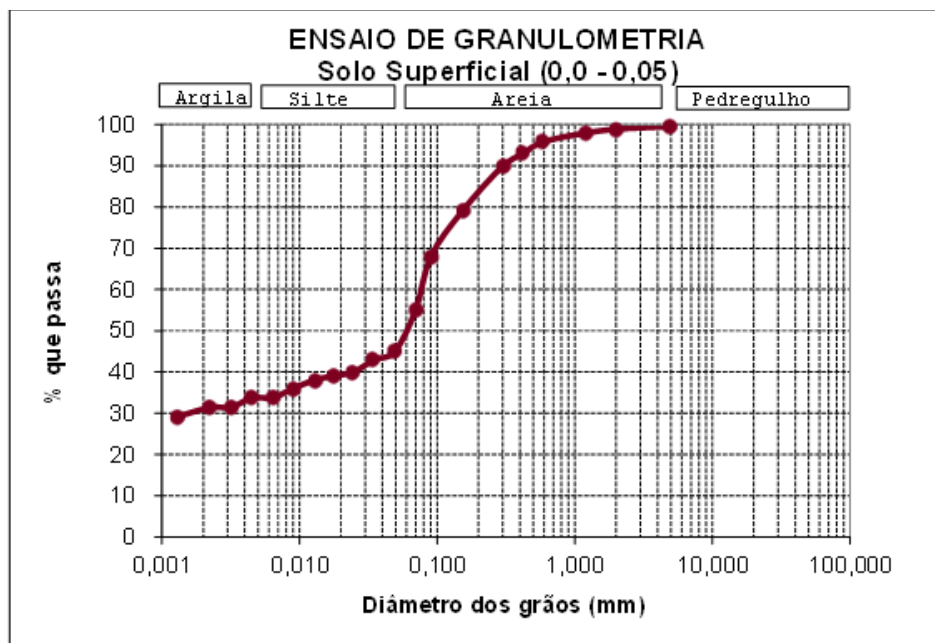
Tabela 12. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 02

Encosta	Camada	Limites de Consistência		Índice de Plasticidade	Definição do IP
		LL	LP		
Gruta do Vigário	Solo 1	46%	31%	15%	Muito plástico
	Solo 2	49%	30%	19%	Muito plástico

Fonte: O autor (2019)

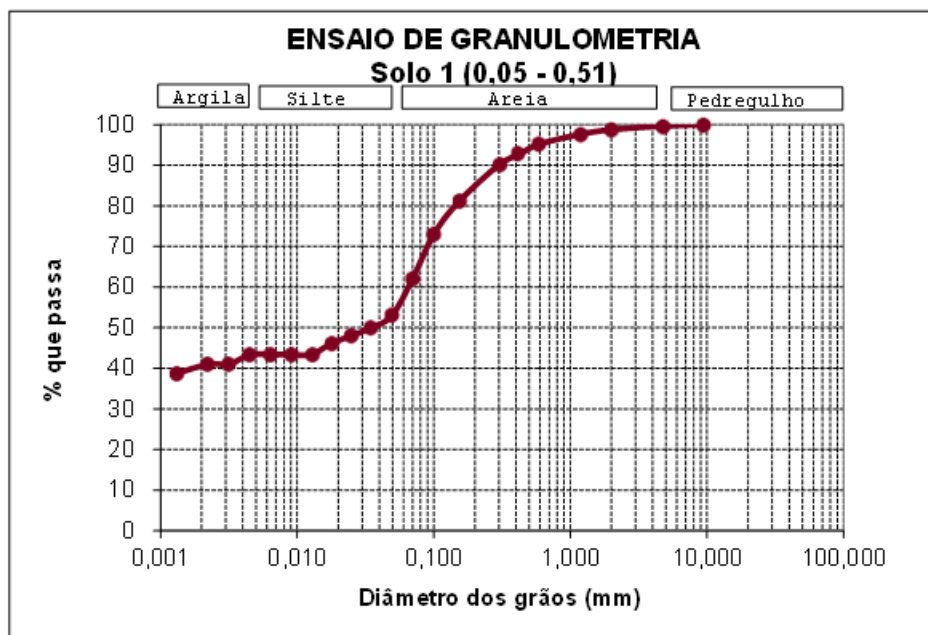
4.1.1.3 Encosta 03 – Córrego da Carniça (Centro)

A amostra retirada da Encosta 03, localizada no Córrego da Carniça (Centro), foram obtidas as seguintes curvas granulométricas apresentadas nas Figuras 25, 26 e 27.

Figura 25. Curva granulometria do solo superficial da Encosta 03

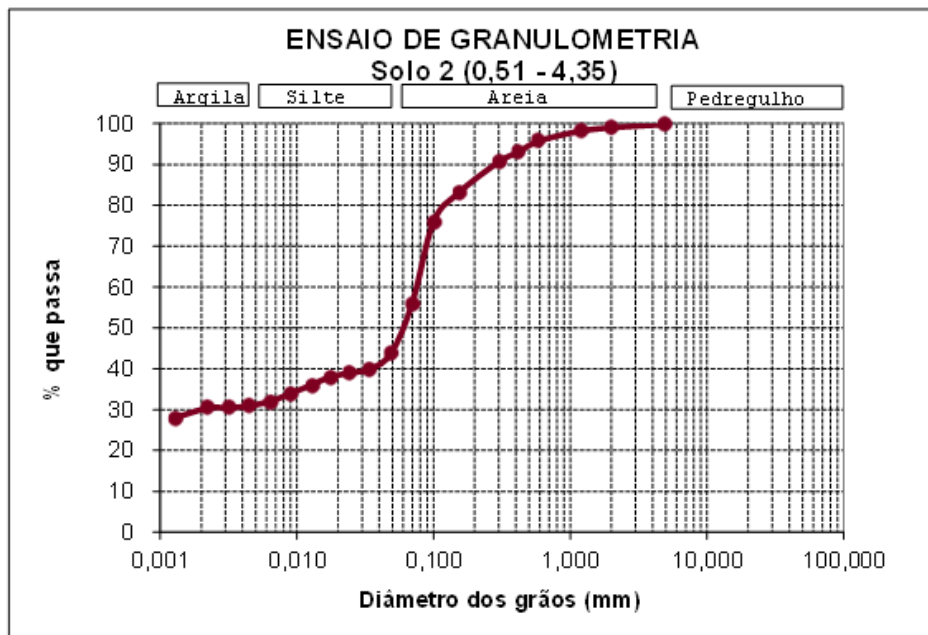
Fonte: O autor (2019)

Figura 26. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 03



Fonte: O autor (2019)

Figura 27. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 03



Fonte: O autor (2019)

A Tabela 13 apresenta as frações do tipo de solo de cada camada, e a Tabela 14 os dados de consistência das amostras de solos da encosta 03.

Tabela 13. Frações das amostras de solos da Encosta 03

Encosta 03 - Córrego da Carniça				
Camada	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
Solo Superf.	34	14	52	0
Solo 1	44	14	42	0
Solo 2	32	18	50	0

Fonte: O autor (2019)

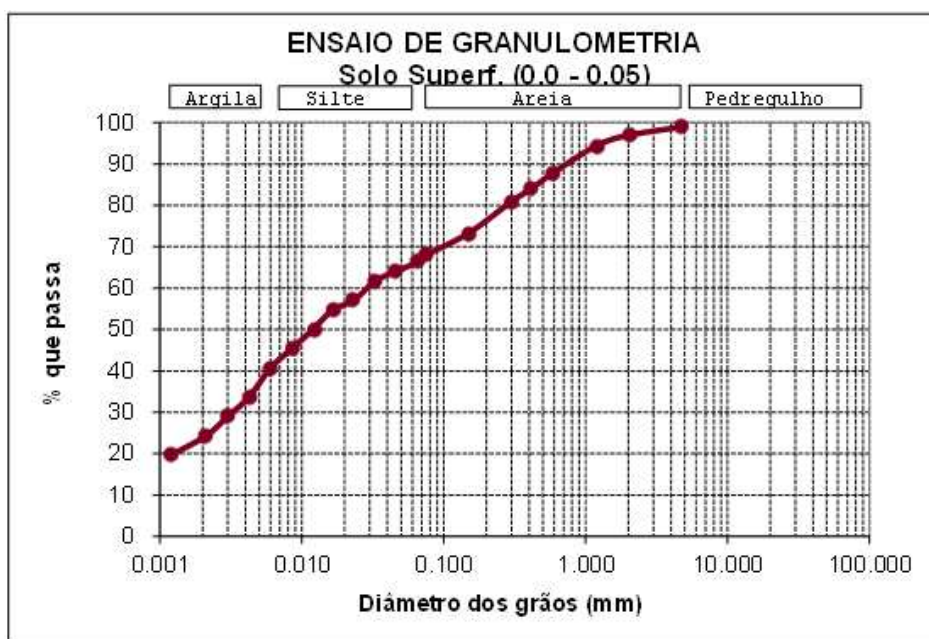
Tabela 14. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 03

Encosta	Camada	Limites de Consistência		Índice de Plasticidade	Definição do IP
		LL	LP		
Córrego da Carniça	Superficial	52.60%	40%	12.60%	Médio plástico
	Solo 1	51.80%	38%	14%	Médio plástico
	Solo 2	57%	45%	12%	Médio plástico

Fonte: O autor (2019)

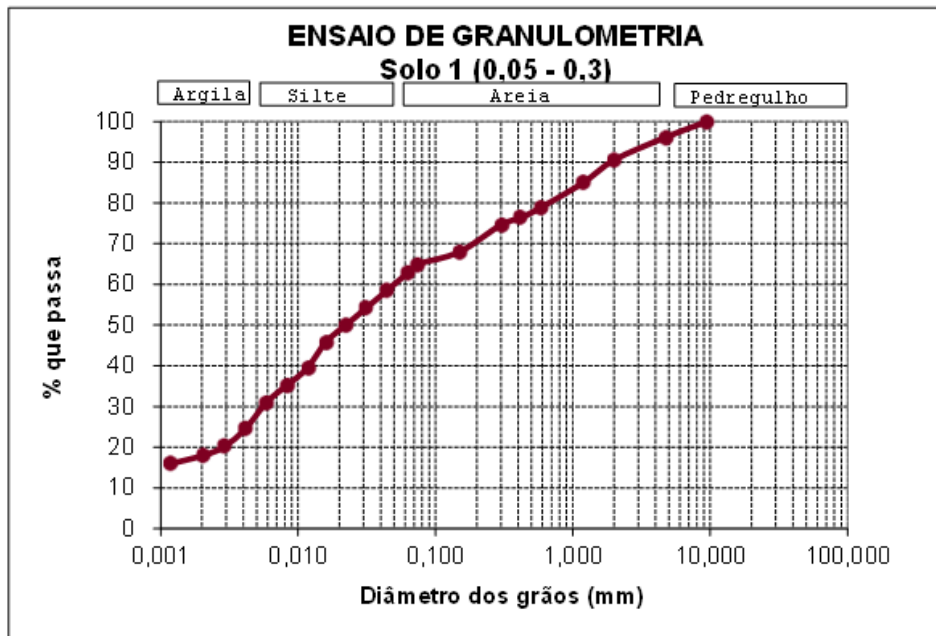
4.1.1.4 Encosta 04 – Rua Valdemar Lima (Centro)

Localizada no Córrego da Carniça (Centro), a amostra de solo obtida da Encosta 4, apresentou as seguintes curvas granulométricas apresentadas nas Figuras 28 a 34.

Figura 28. Curva granulometria do solo superficial da Encosta 04

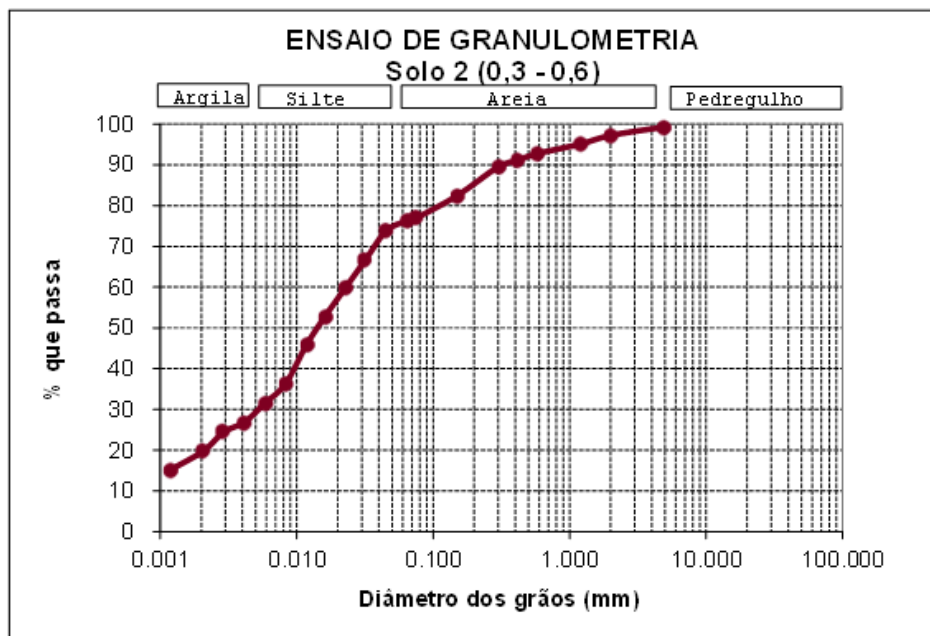
Fonte: O autor (2019)

Figura 29. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 04



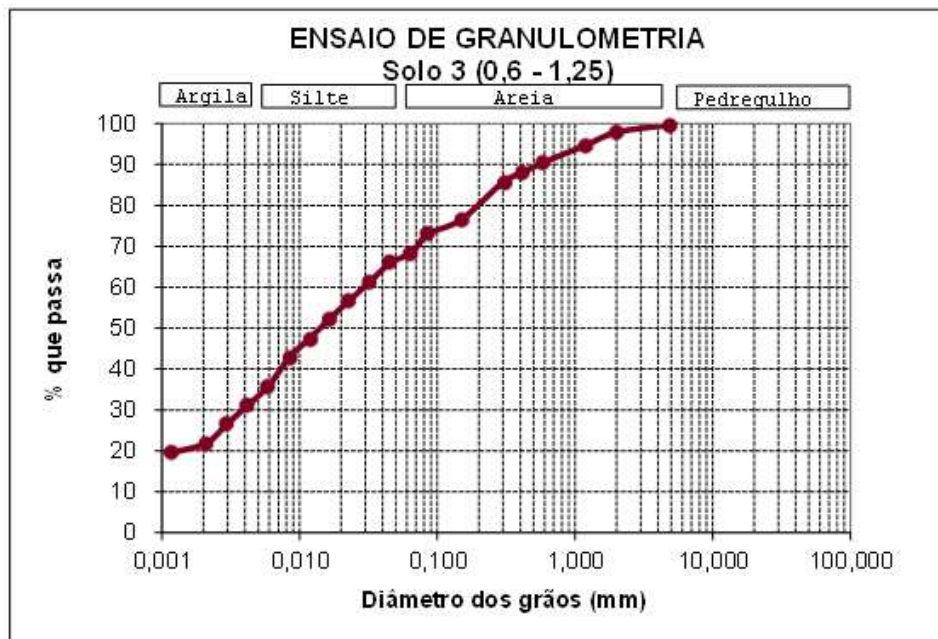
Fonte: O autor (2019)

Figura 30. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 04



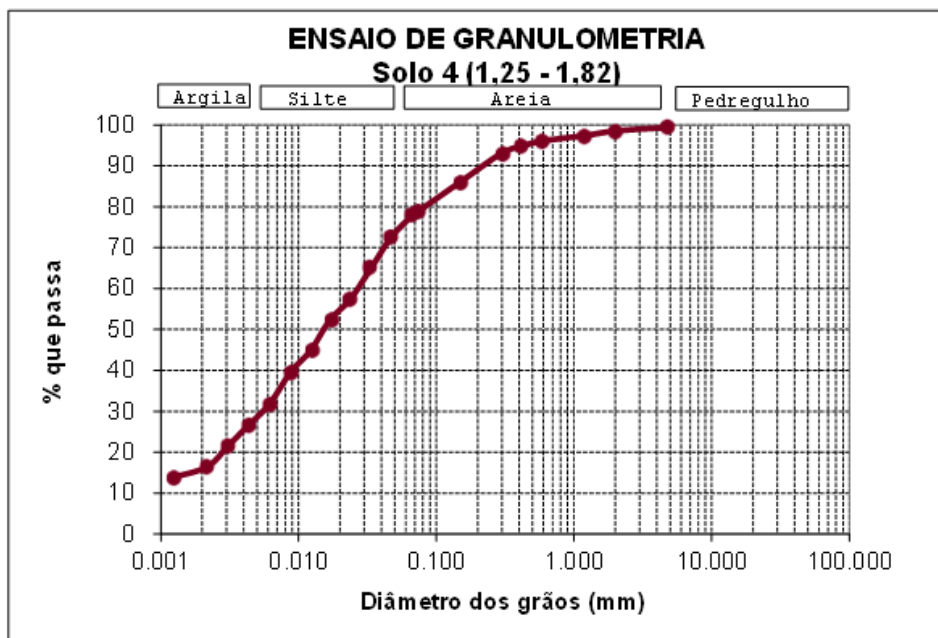
Fonte: O autor (2019)

Figura 31. Curva granulometria do solo 3 da Encosta 04

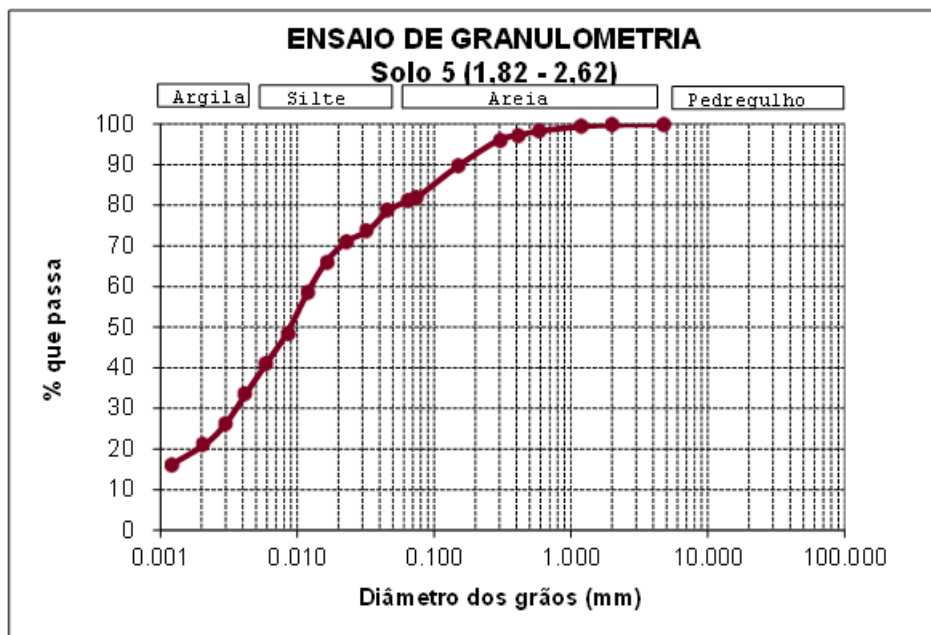


Fonte: O autor (2019)

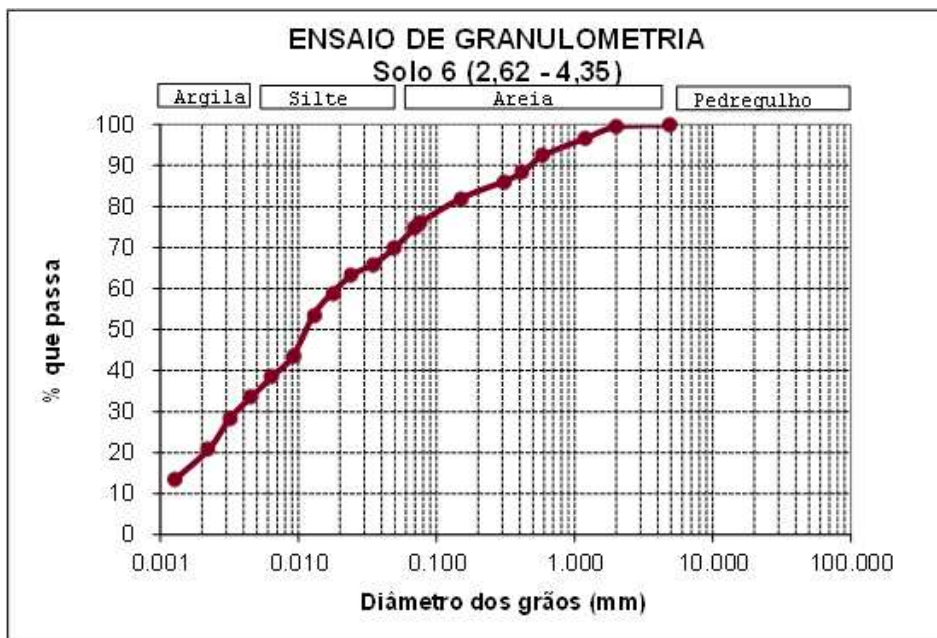
Figura 32. Curva granulometria do solo 4 da Encosta 04



Fonte: O autor (2019)

Figura 33. Curva granulometria do solo 5 da Encosta 04

Fonte: O autor (2019)

Figura 34. Curva granulometria do solo 6 da Encosta 04

Fonte: O autor (2019)

A Tabela 15 apresenta as frações do tipo de solo de cada camada, e a Tabela 16 os dados de consistência das amostras de solos da encosta em questão.

Tabela 15. Frações das amostras de solos da Encosta 04

Encosta 04 - Rua Valdemar Lima				
Camada	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
Solo Supf.	44	24	32	0
Solo 1	32	31	33	4
Solo 2	32	44	24	0
Solo 3	36	34	30	0
Solo 4	30	48	22	0
Solo 5	38	44	18	0
Solo 6	36	38	26	0

Fonte: O autor (2019)

Tabela 16. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 04

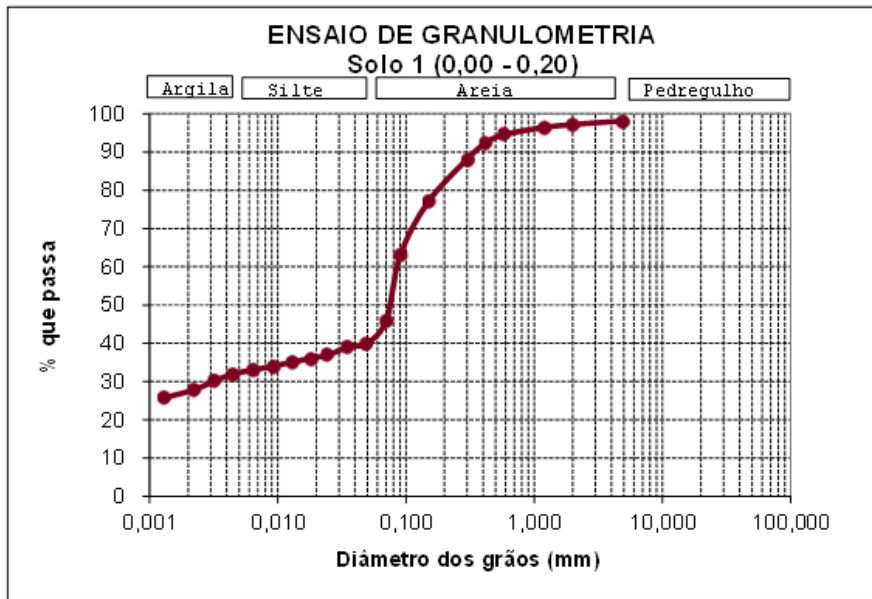
Encosta	Camada	Limites de Consistência		Índice de Plasticidade	Definição do IP
		LL	LP		
Valdemar Lima	Superficial	58.44%	37%	21.44%	Muito plástico
	Solo 1	38.4%	32%	6.40%	Pouco plástico
	Solo 2	45.46%	36%	9.46%	Médio plástico
	Solo 3	41%	37%	4.02%	Pouco plástico
	Solo 4	42%	34%	8.39%	Médio plástico
	Solo 5	55.52%	45%	10.52%	Médio plástico
	Solo 6	53.01%	37%	16.01%	Muito plástico

Fonte: O autor (2019)

4.1.1.5 Encosta 05 – Alto da Vitória (Centro)

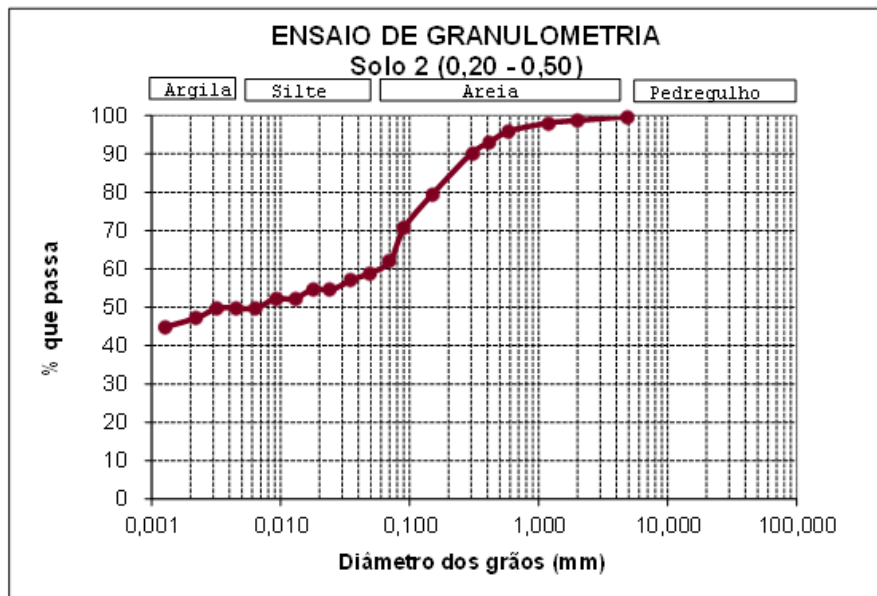
Por fim, a amostra de solo retirada da Encosta 5, localizada no Alto da Vitória, apresentou as seguintes curvas granulométricas, mostradas nas Figuras 35, 36 e 37.

Figura 35. Curva granulometria do solo 1 da Encosta 05

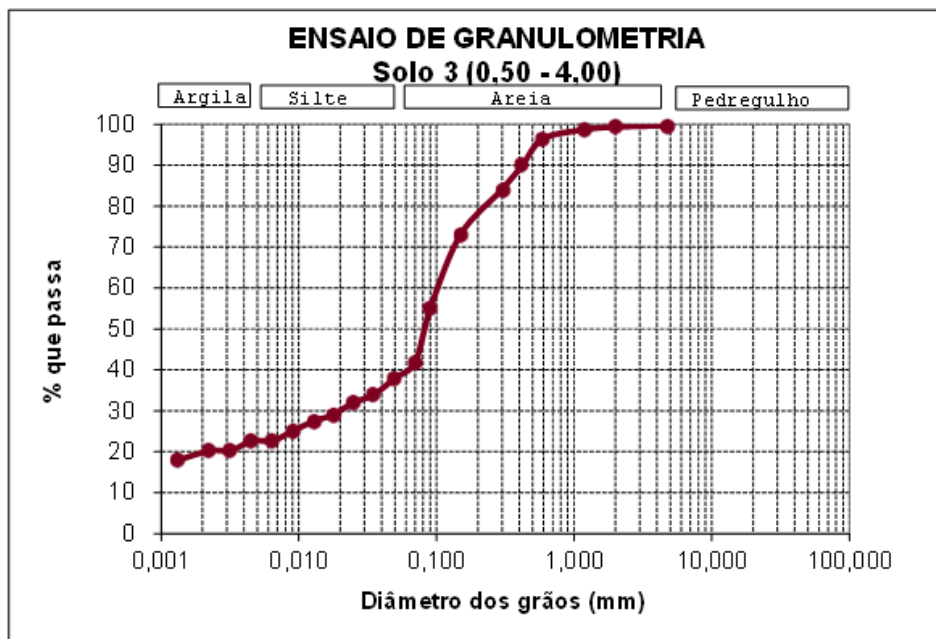


Fonte: O autor (2019)

Figura 36. Curva granulometria do solo 2 da Encosta 05



Fonte: O autor (2019)

Figura 37. Curva granulometria do solo 3 da Encosta 05

Fonte: O autor (2019)

A Tabela 17 apresenta as frações do tipo de solo de cada camada, e a Tabela 18 os dados de consistência das amostras de solos da encosta 5, em questão.

Tabela 17. Frações das amostras de solos da Encosta 05

Encosta 05 - Alto da Vitória				
Camada	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Pedregulho (%)
Solo 1	32	10	58	0
Solo 2	50	12	38	0
Solo 3	22	18	60	0

Fonte: O autor (2019)

Tabela 18. Dados de consistência das amostras de solos da Encosta 05

Encosta	Camada	Limites de Consistência		Índice de Plasticidade	Definição
		LL	LP		
Alto da Vitória	Solo 1	53%	38%	15%	Muito plástico
	Solo 2	52%	42%	10%	Médio plástico
	Solo 3	63%	42%	21%	Muito plástico

Fonte: O autor (2019)

4.1.2 Classificação dos Solos através do Sistema Unificado de Classificação dos Solos (S.U.C.S.)

A classificação das amostras de solos, retiradas das encostas, foram elaboradas por meio do Fluxograma e da Carta de plasticidade apresentados no Anexo A. Abaixo, nas Tabelas 19 a 23 estão apresentadas as classificações obtidas.

Tabela 19. Classificação das amostras de solos da Encosta 01 pelo S.U.C.S.

Encosta 01 - Córrego da Paz		
Camada	Classificação	Definição
Solo 1	CL - SC	Argila inorgânica de baixa plasticidade (Areia argilosa)
Solo 2	MH - SM	Silte inorgânico de alta plasticidade (Areia siltosa)

Fonte: O autor (2019)

Tabela 20. Classificação das amostras de solos da Encosta 02 pelo S.U.C.S.

Encosta 02 - Gruta do Vigário		
Camada	Classificação	Definição
Solo 1	ML ou OH - SM	Silte inorgânico ou solo orgânico de baixa plasticidade
Solo 2	ML - SM	Silte inorgânico de baixa plasticidade (Areia siltosa)

Fonte: O autor (2019)

Tabela 21. Classificação das amostras de solos da Encosta 03 pelo S.U.C.S.

Encosta 03 - Córrego da Carniça		
Camada	Classificação	Definição
Solo Sup.	MH	Silte inorgânico de alta plasticidade
Solo 1	MH	Silte inorgânico de alta plasticidade
Solo 2	MH	Silte inorgânico de alta plasticidade

Fonte: O autor (2019)

Tabela 22. Classificação das amostras de solos da Encosta 04 pelo S.U.C.S.

Encosta 04 - Rua Valdemar Lima		
Camada	Classificação	Definição
Solo Sup.	MH	Silte inorgânico de alta plasticidade
Solo 1	ML	Silte inorgânico de baixa plasticidade
Solo 2	ML	Silte inorgânico de baixa plasticidade
Solo 3	ML	Silte inorgânico de baixa plasticidade
Solo 4	ML	Silte inorgânico de baixa plasticidade
Solo 5	MH	Silte inorgânico de alta plasticidade
Solo 6	MH	Silte inorgânico de alta plasticidade

Fonte: O autor (2019)

Tabela 23. Classificação das amostras de solos da Encosta 05 pela S.U.C.S.

Encosta 05 - Alto da Vitória		
Camada	Classificação	Definição
Solo Sup.	MH - SM	Silte inorgânico de alta plasticidade (Areia siltosa)
Solo 1	MH	Silte inorgânico de alta plasticidade
Solo 2	MH	Silte inorgânico de alta plasticidade

Fonte: O autor (2019)

Analisando as Tabelas apresentadas acima, é possível observar que as amostras de solos das encostas foram classificadas, na grande maioria, como Silte inorgânico (M) variando entre media (L) e alta (M) plasticidade, exceto o “solo 1” da Encosta 01 que foi classificado como Argila inorgânica (C).

Além da presença de Argila e Silte, houve camadas de solos que apresentaram Solos orgânicos (OH), Areia Argilosa (SC) e Areia Siltosa (SM), e para tanto cada uma recebeu a classificação adequada como é observado nas Tabelas anteriores.

4.2 Graus de risco finais alcançados

Para o fator topográfico, a Encosta 1 (Córrego da Paz) e a Encosta 3 (Córrego da Carniça), apresentaram grau de risco variando entre baixo, médio e alto; já para as Encostas 2 (Gruta do Vigário), 4 (Rua Valdemar Lima) e 5 (Alto da Vitória), os graus obtidos foram baixo e médio.

Esse grau de risco é resultado da grande influência propiciada pelo atributo da altura e da declividade, como é possível ver na Figura 38, seguido pela contribuição do atributo perfil e morfologia, e por último o atributo da extensão da encosta.

Figura 38. Córrego da Carniça

Fonte: O autor (2019)

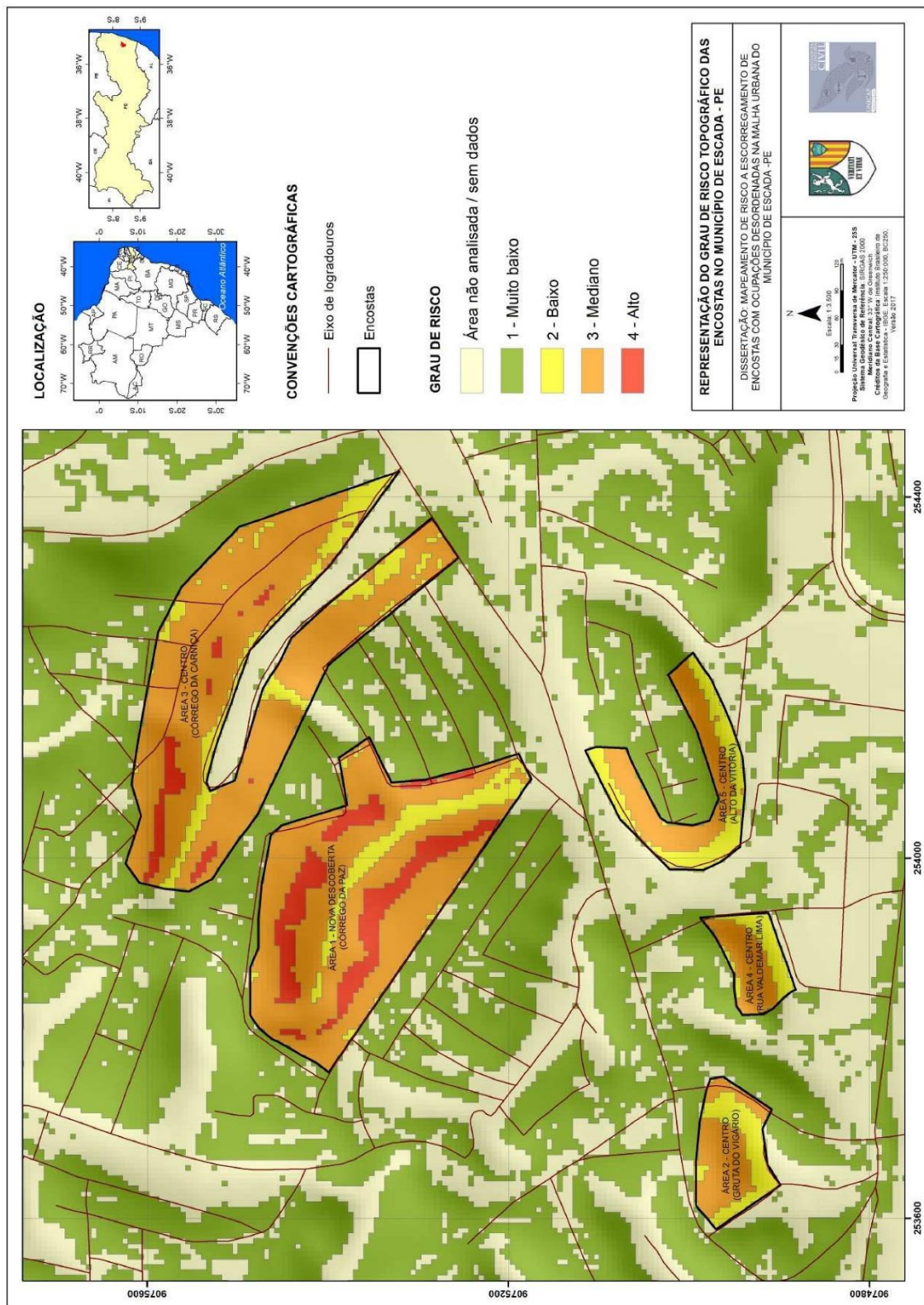
Os graus de risco finais para o fator topográfico das encostas estão apresentados na Tabela 24, e o mapa de suscetibilidade para o fator topográfico é apresentado na Figura 39 (Apêndice C).

Tabela 24. Grau final de risco das encostas para o fator topográfico

ÁREA	GRAU FINAL
Encosta 1 – Córrego da Paz	2, 3 e 4
Encosta 2 – Gruta do Vigário	2 e 3
Encosta 3 – Córrego da Carniça	2, 3 e 4
Encosta 4 – Rua Valdemar Lima	2 e 3
Encosta 5 – Alto da Vitória	2 e 3

Fonte: O autor (2019)

Figura 39. Mapa de suscetibilidade para o fator topográfico (P1)



Fonte: O autor (2019)

Quanto ao fator geológico a Encosta 2, localizada na Gruta do Vigário, e a Encosta 4, localizada na Rua Valdemar Lima, apresentaram em seus resultados graus de risco médio e alto, já as demais áreas apresentaram apenas grau de risco médio.

A presença do risco alto, é consequência do atributo evidências de movimentos (Figura 40), o maior responsável pelo grau de risco alcançado, seguido pelos atributos: estrutura, textura e litologia (Apêndice B).

Figura 40. Gruta do Vigário



Fonte: O autor (2019)

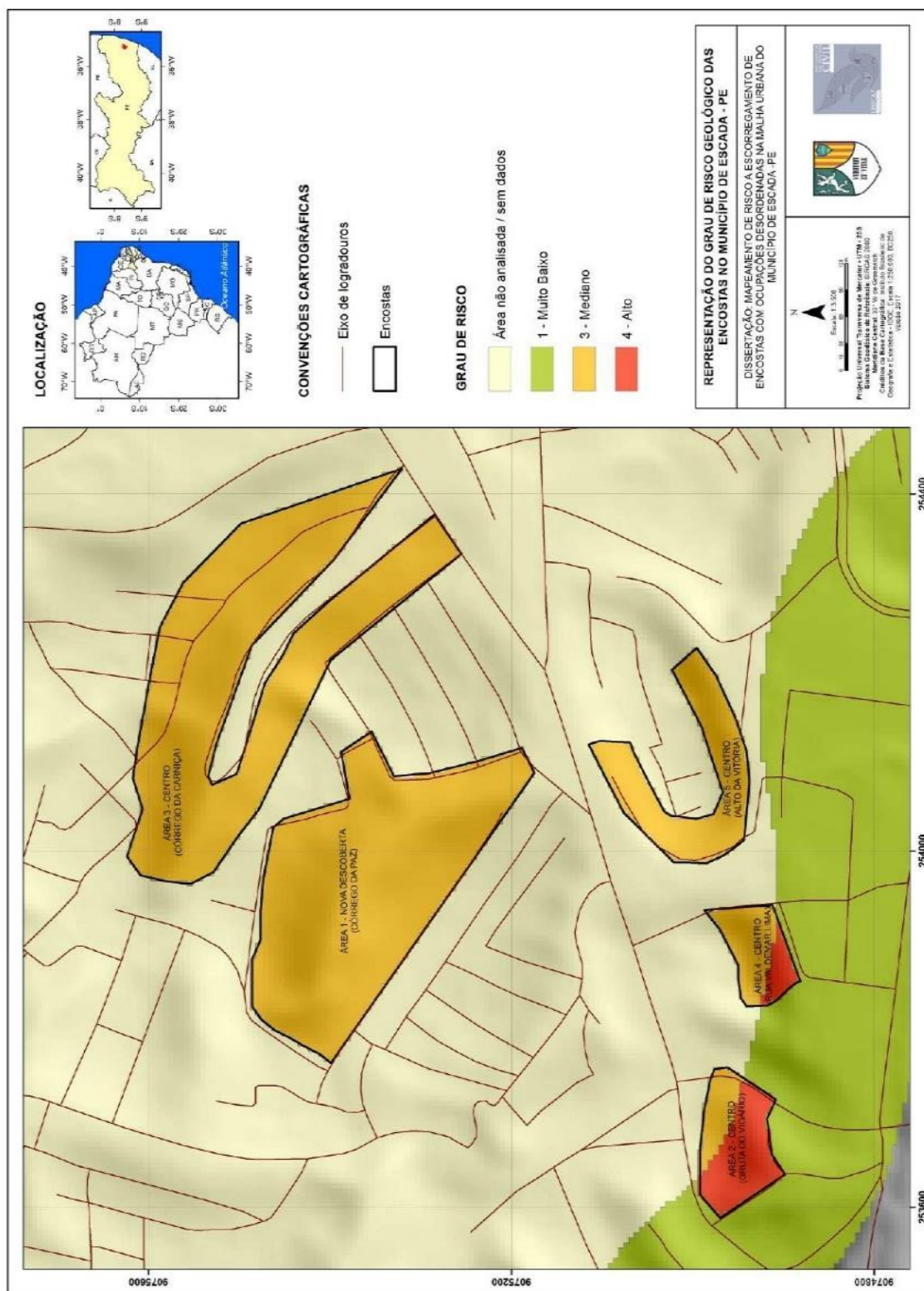
Os graus de risco finais para o fator geológico das encostas estão apresentados na Tabela 25, e o mapa de suscetibilidade para o fator geográfico é apresentado na Figura 41 (Apêndice D).

Tabela 25. Grau final de risco das encostas para o fator geológico

ÁREA	GRAU FINAL
Encosta 1 – Córrego da Paz	3
Encosta 2 – Gruta do Vigário	3 e 4
Encosta 3 – Córrego da Carniça	3
Encosta 4 – Rua Valdemar Lima	3 e 4
Encosta 5 – Alto da Vitória	3

Fonte: O autor (2019)

Figura 41. Mapa de suscetibilidade para o fator geológico (P2)



Fonte: O autor (2019)

Já para o fator ambiental, as Encostas 1 (Córrego da Paz) e a Encosta 3 (Córrego da Carniça), apresentaram um maior grau de risco, variando entre alto e muito alto, já as demais Encostas, os graus de risco variaram entre médio a alto.

Em relação ao fator ambiental, levando em consideração a vegetação, é possível ser observado nas fotos a presença de árvores de grande porte, como também a existência de bananeiras; tipo de vegetação inapropriada para áreas de morros, pois elevam a solitação e diminuem as forças resistentes.

Ainda sobre o fator ambiental, as áreas estudadas apresentam elevada taxa populacional, população essa que encontra distribuída de forma desorganizada sobre toda a extensão dos morros, como é possível observar nas Figuras 42 e 43. Essa desorganização acarreta inúmeros problemas como por exemplo: cortes e aterros inadequados, deposição de lixo e entulho sobre as encostas, lançamento de água servidas diretamente sobre as encostas, etc. Todos esses problemas aumenta a suscetibilidade de deslizamentos e elevação do grau de risco a deslizamentos.

Figura 42. Córrego da Paz (Nova Descoberta)



Fonte: O autor (2019)

Figura 43. Alto da Vitória

Fonte: O autor (2019)

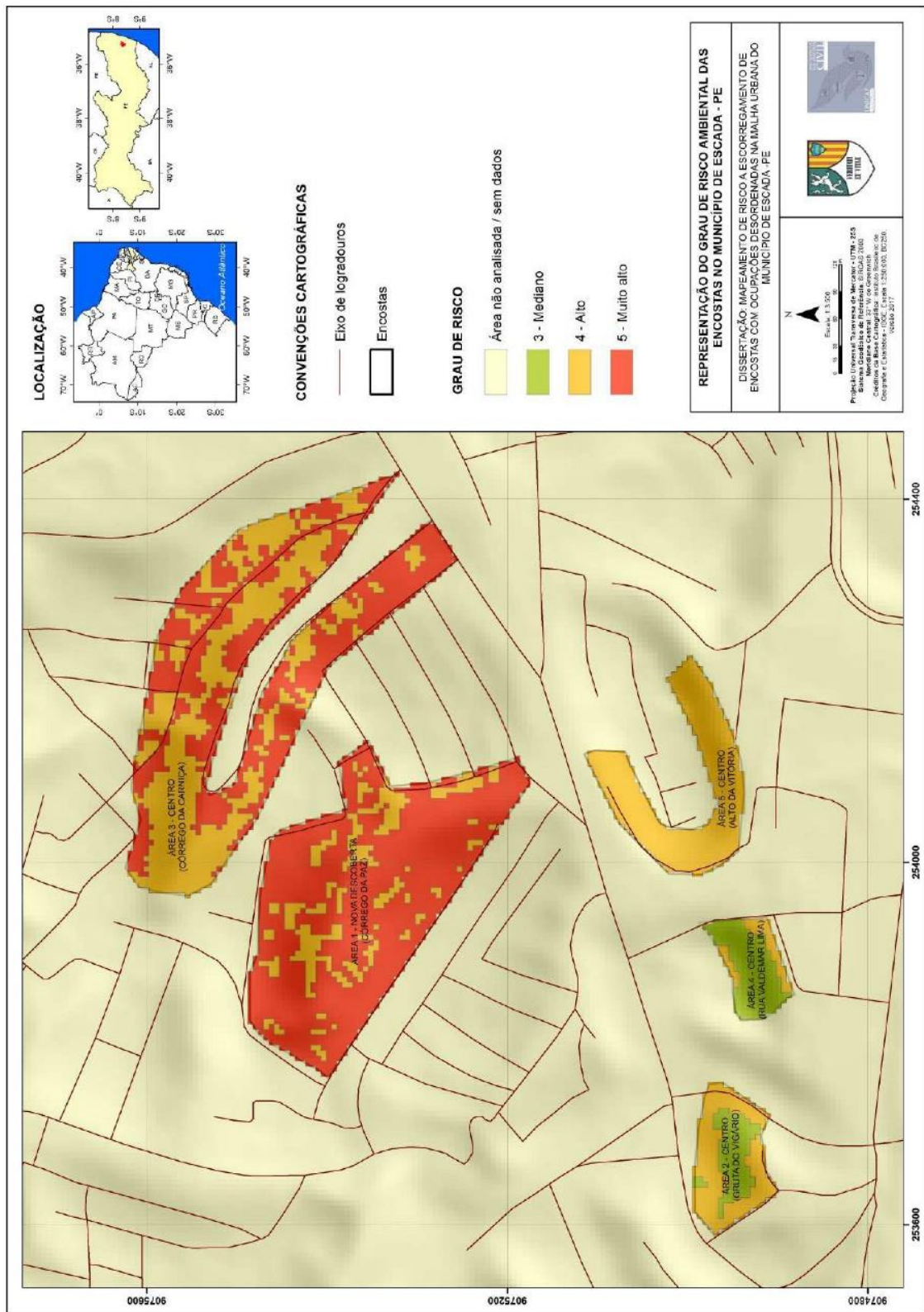
Os graus de risco finais para o fator geológico das encostas estão apresentados na Tabela 26, e o mapa de suscetibilidade para o fator topográfico é apresentado na Figura 44 (Apêndice E).

Tabela 26. Grau final de risco das encostas para o fator geológico

ÁREA	GRAU FINAL
Encosta 1 – Córrego da Paz	4 e 5
Encosta 2 – Gruta do Vigário	3 e 4
Encosta 3 – Córrego da Carniça	4 e 5
Encosta 4 – Rua Valdemar Lima	3 e 4
Encosta 5 – Alto da Vitória	4

Fonte: O autor (2019)

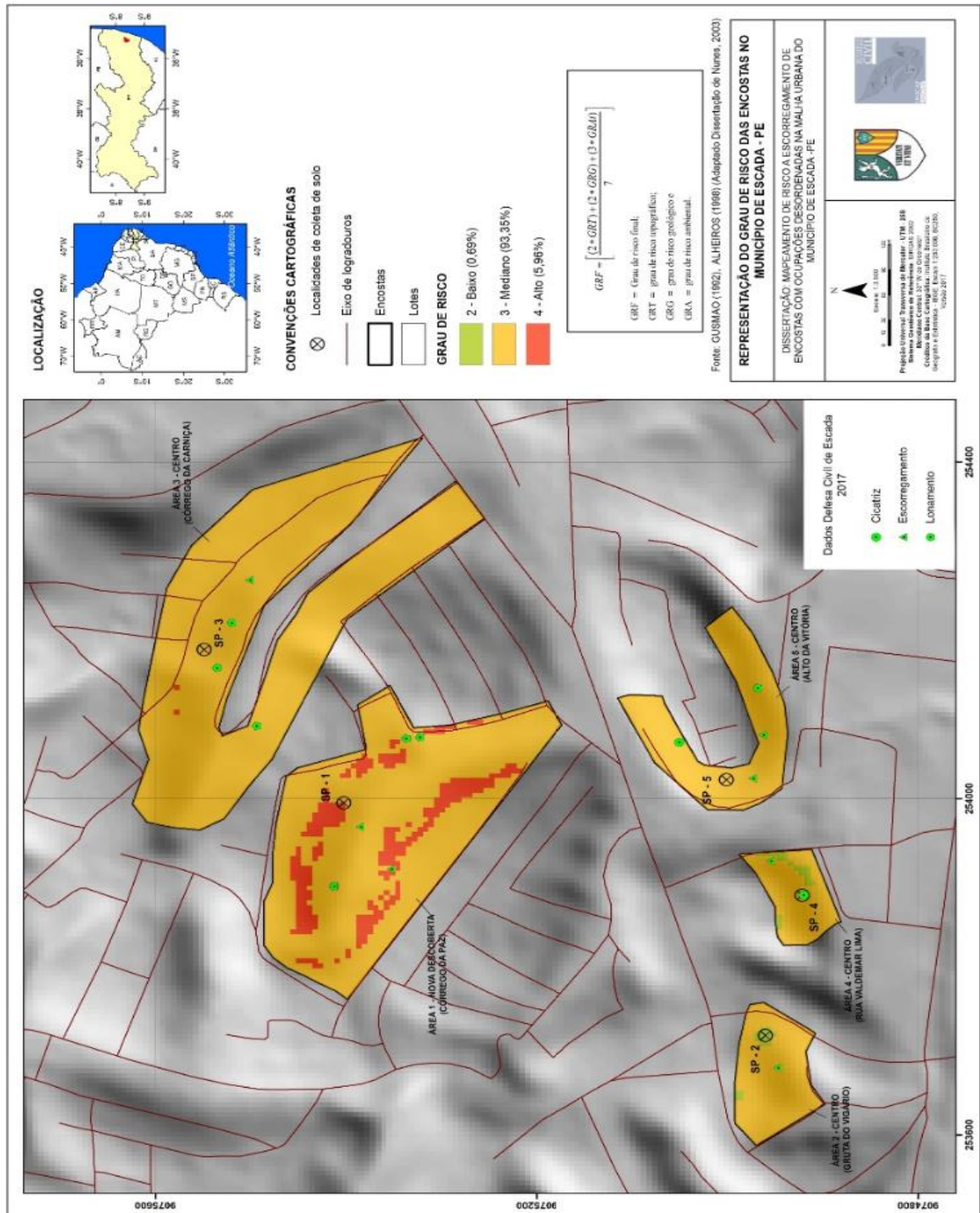
Figura 44. Mapa de suscetibilidade para o fator ambiental (P3)



Fonte: O autor (2019)

Por fim, para o grau de risco final, foram obtidos os seguintes resultados, apresentados no mapa da Figura 45 (Apêndice F) e na Tabela 27, abaixo.

Figura 45. Mapa de suscetibilidade final



Fonte: O autor (2019)

Observando o mapa da Figura 45, as encostas obtiveram graus de risco final variando entre baixo, médio e alto. Em termos de área isso representa que 0,69% das encostas apresentaram grau de risco baixo; 93,35% das encostas obtiveram grau de risco médio e 5,96% da área estudada apresentaram grau de risco alto. fora considerado os pontos de lonamento, cicatrizes e escorregamentos dado esse adquirido com informação da defesa civil local e identificação de fotos por drone com ferramenta auxiliar que evidencia a potencialidade do fator ambiental onde engloba a ação antrópica que aceleram a suscetibilidade .

Tabela 27. Grau de Risco Final

ÁREA	RISCO TOPOGRÁFICO (P1) Grau	RISCO GEOLÓGICO (P2) Grau	RISCO AMBIENTAL (P3) Grau	GRAU FINAL
Encosta 1 – Córrego da Paz	2, 3 e 4	3	4 e 5	3 e 4
Encosta 2 – Gruta do Vigário	2 e 3	3 e 4	3 e 4	2 e 3
Encosta 3 – Córrego da Carniça	2, 3 e 4	3	4 e 5	3 e 4
Encosta 4 – Rua Valdemar Lima	2 e 3	3 e 4	3 e 4	2 e 3
Encosta 5 – Alto da Vitória	2 e 3	3	4	3

Fonte: O autor (2019)

É notório que os fatores analisados (topográfico, geológico e ambiental) tiveram grande participação na determinação do grau de risco final das encostas estudadas, no entanto, o fator ambiental apresentou uma maior nota em relação aos outros fatores, devido ao atributo antrópico, como é observado nas encostas 1 e 3, que apresentaram pontos de risco mais alto em relação as encostas 2, 4 e 5.

O fator ambiental, constitui-se como a representação das ações antrópicas, e participa ativamente na elevação do grau de risco das encostas. A Figura 46, apresentada abaixo demonstra isso muito bem, nela é possível ver a presença de construções executados de forma inadequada, sem nenhum conhecimento técnico, além do mais é

possível observar a ausência de obras de drenagem e de contenção.

Em um segundo momento há a presença dos outros fatores, o topográfico e o geológico, que participam como coadjuvantes na elevação do grau de risco das encostas estudadas, como é possível observar na Tabela 27.

Figura 46. Córrego da Carniça



Fonte: O autor (2019)

4.2.1 População em área de Risco

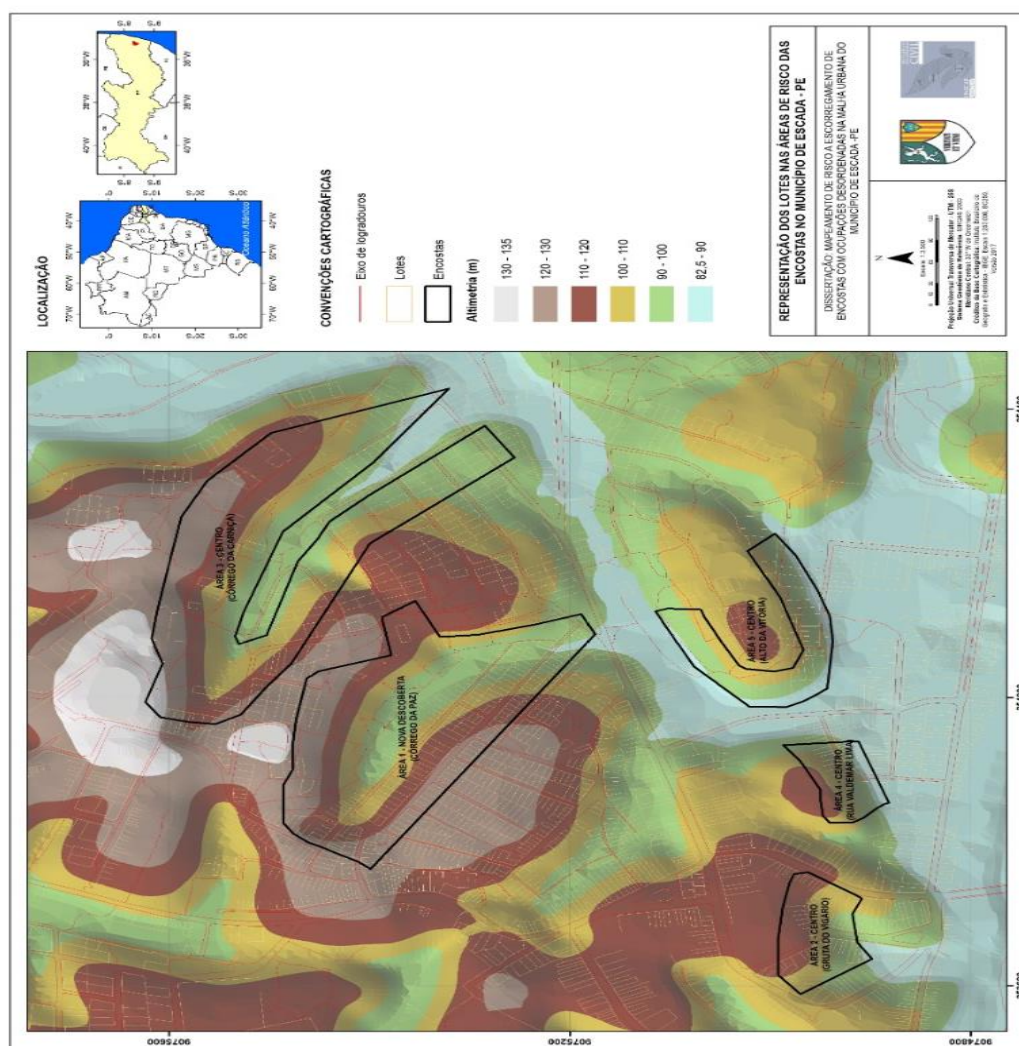
Conhecer o número de pessoas em áreas de risco é de fundamental importância, pois permite que sejam adotadas medidas de intervenção mais adequadas. Por meio da obtenção do grau de risco das encostas foi possível estimar o número de imóveis e pessoas diretamente afetadas. O mapa da Figura 48 (Apêndice G) apresenta o grau de risco das encostas quanto ao número de pessoas afetadas, baseando-se no mapa de lotes Figura 47 (Apêndice H) onde supõe-se 4 pessoa por casa tendo-se uma média de moradores afetados, apresentados na Tabela 28 abaixo.

Tabela 28. Número aproximado de imóveis e pessoas em áreas de risco

Localidade	Imóveis em Risco (aprox.)	Pessoas em Risco (aprox.)
Alto da Vitória	80	320
Córrego da Paz (Nova Descoberta)	289	1156
Córrego da Carniça (Centro)	166	664
Gruta do Vigário (Centro)	15	60
Rua Valdemar Lima (Centro)	18	72
TOTAL	568	2272

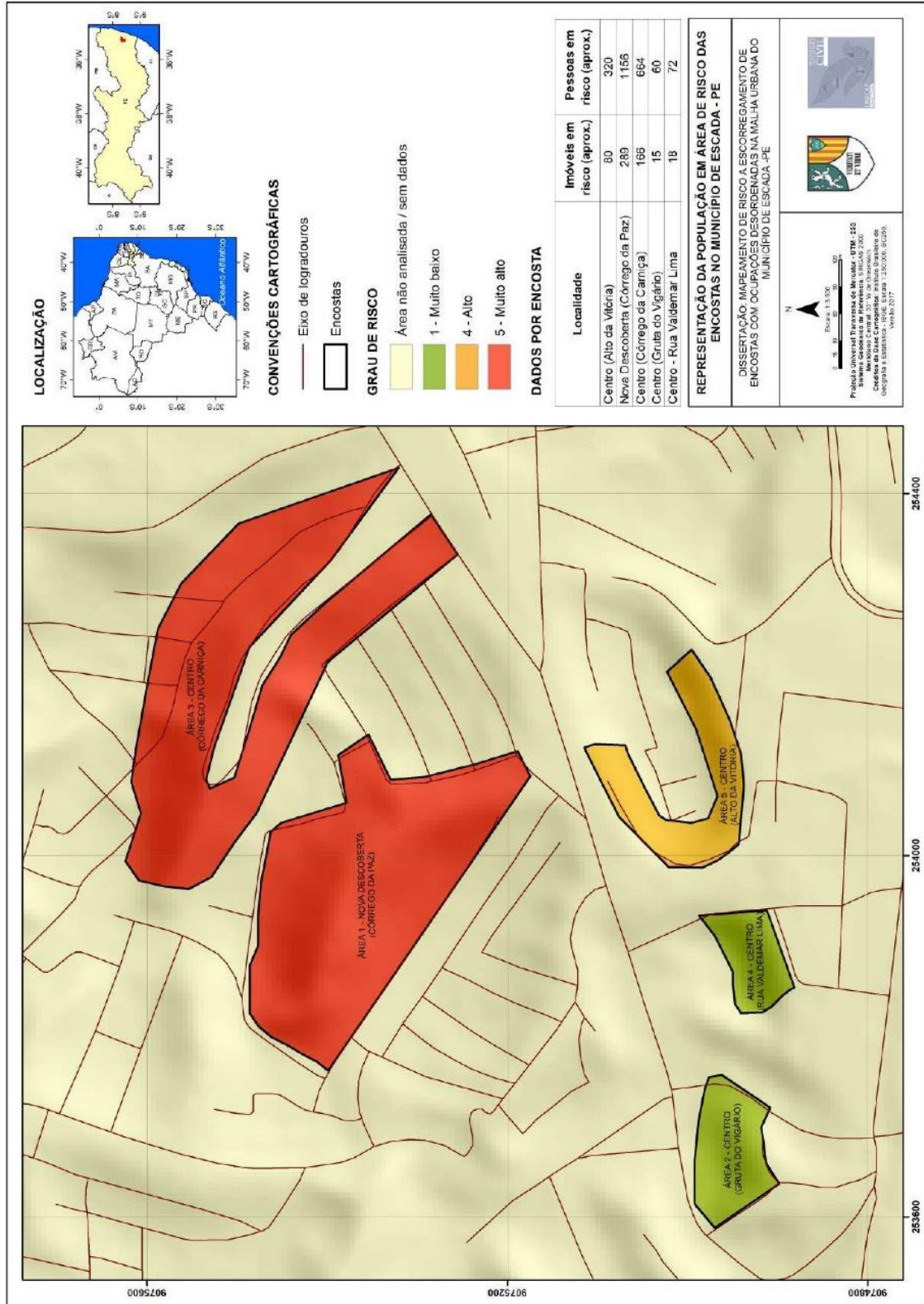
Fonte: O autor (2019)

Figura 47 Mapa de lotes



Fonte: O autor (2019)

Figura 48. Mapa população em área de risco



Fonte: O autor (2019)

Deste modo, a área que apresentou a pior condição foi a encosta localizada no Córrego da Paz (Nova Descoberta) apresentando o maior número de imóveis e pessoas afetadas, seguida pelo Córrego da Carniça, Alto da Vitória, Rua Valdemar Lima e por último Gruta do Vigário.

CAPÍTULO V – CONCLUSÕES

A caracterização do solo das encostas mostrou pouca variação entre as camadas dos solos quanto a granulometria, apresentando em maior porcentagem areia, silte e argila. Para o Índice de Plasticidade (IP), as amostras de solos obtidas das encostas 1 (Córrego da Paz), 2 (Gruta do Vigário), 3 (Córrego da Carniça) e 5 (Alto da Vitória), apresentaram pouca variação, no entanto, na encosta 4 (Rua Valdemar Lima) a variação foi bem considerável. Para as encostas 1 e 2, houve uma pequena variação quanto os valores de IP. Na encosta 1 o IP obtido foi de 18% e 19% e para a encosta 2 foi obtido o IP de 15% e 19%, sendo classificados como solos com partículas muito plásticas. Na encosta 3 não foi diferente, apresentaram pouca variação entre as camadas, sendo classificados como mediamente plásticos, obtendo os seguintes valores: 13%, 14% e 12%. Para a encosta 4 a variação foi ainda maior, os Índices obtidos para cada camada foram: 21.4% (muito plástico); 6.4% (pouco plástico); 9.5% (médio plástico); 4.0% (pouco plástico); 8.0% (médio plástico); 1.5% (médio plástico) e 16.0% (muito plástico).

No que se refere a classificação das amostras de solos por meio do S.U.C.S., de um modo geral, foram classificadas como siltes (M), apresentando baixa (L) e alta (H) plasticidade, exceto, a camada a primeira camada de solo da encosta 1 que foi classificada como argila (C) e a camada “solo 1” da encosta 2 que apresentou matéria orgânica com alta plasticidade (OH).

Quanto a análise de risco por meio da utilização da metodologia proposta por Gusmão Filho et. al. (1992) mostram que as encostas apresentam um Grau de Risco final variando entre: baixo (2), médio (3) e alto (4).

O fator topográfico (P1) e o geológico (P2) participaram ativamente na elevação do grau de risco das encostas estudadas, no entanto o fator ambiental (P3) foi o que apresentou maior participação no grau de risco alcançado. Para o fator topográfico (P1) os graus de risco variaram entre baixo (2), médio (3) e alto (4); e as encostas que obtiveram maior grau de risco nesse aspecto foi a encosta 1, localizada no Córrego da Paz, e a encosta 3, localizada no Córrego da Carniça. Assim, para o fator geológico (P2), as encostas apresentaram graus de risco da seguinte ordem: médio (3) e alto (4); sendo

que as áreas que apresentaram maior grau de risco foi a encosta 2, localizada na Gruta do Vigário, e a encosta 4, localizada na Rua Valdemar Lima.

O fator ambiental (P3) foi o que apresentou maior grau de risco, verificado pela elevada ação antrópica presente nas encostas; fato evidenciado através da análise visual, onde foi observado as seguintes interferências humanas: construções irregulares; cortes e aterros feitos de forma inadequada; retirada da vegetação ou plantio de vegetação inapropriada; falta de drenagem e despejo de águas servidas sobre as encostas; descarte de entulhos e lixos sobre as encostas; e etc. O grau de risco para o esse fator variou entre médio (3), alto (4) e muito alto (5), e a encosta que apresentou maior grau de risco nesse aspecto foram as encostas 1 (Córrego da Paz) e 3 (Córrego da Carniça).

Quanto ao risco final, a encosta 1, localizada no Córrego da paz, apresentou grau final de risco médio (3) e alto (4), colocando em risco 289 imóveis o que corresponde a aproximadamente 1156 pessoas. Na segunda encosta, Gruta do Vigário, foi obtido um grau de risco baixo (2) e médio (3), alcançando um número de 15 imóveis correspondendo a 60 pessoas. Para a área de número 3, Córrego da Carniça, o grau de risco calculado foi de: médio e alto, abrangendo aproximadamente a 166 imóveis ou 664 pessoas. Já a encosta 4, Rua Valdemar Lima, o risco foi de baixo e médio, o que corresponde a 18 imóveis em áreas de risco ou aproximadamente 72 pessoas. E por fim, a encosta de número 5, Alto da Vitória, o grau de risco foi mediano, abrangendo 80 imóveis o que representa 320 pessoas. Assim o número total de imóveis em áreas de risco é de aproximadamente 568 e de pessoas é 2.272.

De modo global, 0.69% das encostas estudadas apresentaram grau de risco baixo, 93.35% das encostas obtiveram grau de risco médio e 5.96% da área estudada apresentaram grau de risco alto. Deste modo, as áreas utilizadas para o estudo e aplicação do método necessitam de intervenções capazes de propiciar condições de segurança mínimas, evitando perdas de vidas e danos econômicos pela ocorrência de futuros deslizamentos de terras.

A utilização de métodos simplificados para a determinação do grau de risco de uma área, como o utilizado nesta dissertação de mestrado, representa uma importante ferramenta para a gestão municipal, pois torna possível que as análises mais aprofundadas sejam focadas e/ou direcionadas nas áreas de maior necessidade, ou seja, nas áreas de risco mais elevado.

CAPÍTULO VI – SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

As encostas, ou popularmente “barreiras”, são áreas que estão em constante mudanças, consequência da grande ação antrópica, revelada neste trabalho pelo fator ambiental. Essas constantes mudanças elevam o grau de risco a deslizamento de terras. Nesse contexto, é de grande valia a avaliação contínua dessas áreas, utilizando instrumentos capazes de identificar e medir deslocamentos, sejam eles verticais e/ou horizontais o método de mapeamento semiautomático é bastante útil, a criação e/ou programação de um App web de celular com identificação de áreas suscetíveis seria uma perspectiva futura de linha de pesquisa onde facilitaria a gestão de riscos.

Outra linha de pesquisa, é a elaboração de cálculos mais avançados, que levem em consideração um maior número de condicionantes, para a determinação mais acertada do grau de risco dessas áreas.

REFERÊNCIAS

ALHEIROS, M. M. (1998), **Riscos de Escorregamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado em Geologia Sedimentar. Universidade Federal da Bahia. Salvador – BA, 129p.

ALHEIROS, M. M., (2004), **Risco Geológico**. Notas de Aula. Universidade Federal de Pernambuco. Recife-PE.

AMORIM, S. F. (2012). **Estudio comparativo de métodos para la evaluación de la susceptibilidad del terreno a la formación de deslizamientos superficiales: Aplicación al Pirineo Oriental**. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona.

ARAÚJO, G. H. de S.; ALMEIDA, J. R. de; GUERRA, A. J. T. (2005), **Gestão ambiental de áreas degradadas**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 320 p.

ARAÚJO FILHO, J. C. de (2009), **Floresta Ombrófila Densa**. Disponível em <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/territorio_mata_sul_pernambucana/arvore/CONT000gt7eon7l02wx7ha087apz2qm63151.html>. Acesso em 08 de agosto de 2019.

ARAÚJO, M. R. A; CAMPOS, D. J. S. L; SILVA, L. A. A. (2010). **Vulnerabilidade Socioambiental nas Cidades: os riscos e perigos de deslizamentos de terra nas áreas pobres Lagoa Encantada e Monte Verde, Recife – PE**. Anais XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6459: Solo – Determinação do Limite de Liquidez**. Rio de Janeiro 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7180: Solo – Determinação do Limite de Plasticidade**. Rio de Janeiro 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7181: Solo – Análise Granulométrica**. Rio de Janeiro 2016.

AZAMBUJA, E., ZENI, C. A., BRESSANI, L. A., e NANNI, A. S. (2001), **Avaliação dos Fluxos de Detritos em Alto Feliz no Rio Grande do Sul**. III COBRAE – Conferência Brasileira Sobre estabilidade de Encostas. Rio de Janeiro – RJ.

BANDEIRA, A. P. N. (2003), **Mapa de risco de erosão e escorregamento das encostas com ocupações desordenadas no município de Camaragibe-PE**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Civil. Recife – PE.

BERTONI, J. O. e LOMBARDI NETO, F. (1985), **Conservação do Solo**. Piracicaba Livrocetes, pp. 368.

BEZERRA, L. T. V. (2016), **Mapeamento de Risco/Perigo de Movimentos de massa e avaliação da Estabilidade das encostas na comunidade São José de Jacó, em Natal/RN**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN.

BITAR, O. Y.; CERRI, L. E. S.; NAKAZAWA, V. A (1992). **Carta de risco geológico e carta geotécnica: uma diferenciação a partir de casos em áreas urbanas no Brasil**. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE RISCO GEOLÓGICO URBANO. Pereira: CARDER/INGEOMINAS/EAFIT/AGID/IUGS/IAEG/ONAD. p. 35-41.

CAPUTO, H.P. **Mecânica dos solos e suas aplicações**. 6.ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos, 1987.

COUTINHO, R. Q. et. al. (1990), **Carta Geotécnica da Cidade do Recife**. In: 6º CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA DE ENGENHARIA E IX CONGRESSO BRASILEIRO DE MECÂNICA DOS SOLOS E FUNDAÇÕES. ABMS, Salvador – BA. v.1.

CRUDEN, D. M. e VARNES, D. (1996), **Landslide Types and Processes**. In Landslides Investigation and Mitigation. Special Report 247.

CUNHA FILHO, A. C. da. (2012), **Modelo Experimental Baseado na Declividade da Encosta Para Avaliação de Risco de Deslizamento**. Dissertação de Mestrado. Universidade Católica de Pernambuco. Recife – PE.

CUNHA, M. A. (1991), **Manual de Ocupação de Encostas**. 1º ed., publicação IPT, nº 1831, São Paulo – SP.

Deslizamentos. **Centro nacional de monitoramento e alertas de desastres naturais CEMADEN**. Disponível em <www.cemaden.gov.br/deslizamentos>. Acesso 15 de junho de 2019.

DIAS, F. P.; HERMANN, M. L. P. de (2002), **Suscetibilidade a deslizamento: estudo de caso no Bairro Saco Grande, Florianópolis – SC**. Caminhos de Geografia, v.3, n.6, p.57-73.

Escada. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/escada/panorama>>. Acesso em 06 de agosto de 2019.

Escada Pernambuco. Disponível em <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Escada_\(Pernambuco\)](https://pt.wikipedia.org/wiki/Escada_(Pernambuco))>. Acesso em 05 de agosto de 2019.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. What is ArcGIS? Disponível em: <http://downloads.esri.com/support/documentation/ao_/698What_is_ArcGis.pdf>. Acesso em 23 de julho de 2019

FARIA, D. G. M. (2011), **Mapeamento de perigo de escorregamentos em áreas urbanas precárias brasileiras com a incorporação do Processo de Análise Hierárquica (AHP)**. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação e Áreas de Concentração em Geotecnia – Escola de Engenharia. São Carlos – SP.

FARMER, E. E. (1993), *Relative Detachability of Soil Particles by Simulated rainfall*. Soil Science Society American Proceedings, pp. 629-633.

FERREIRA, P. M. da S. et al., (2004), **A ação do Neotectonismo sobre o Grupo Barreiras e a conformação da Planície Costeira do Rio São Francisco no litoral sul de Alagoas**. Quinto Simpósio Nacional de Geomorfologia. Primeiro Encontro Sul-Americano de Geomorfologia. Universidade Federal Santa Maria. Santa Maria – RS.

Gleissolos. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/solos/sibcs/classificacao-de-solos/ordens/gleissolos>> Acesso em 10 de agosto de 2019.

GOMES, F. de S. (2001), **Estudo da erodibilidade e parâmetros geotécnicos de um solo em processo erosivo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Tecnologia e Geociências. Recife – PE.

Google Maps. Google. Disponível em <<https://www.google.com.br/maps/>>. Acesso em 20 de maio de 2019.

GRAY, D. H. e LEISER, A. J. (1982), *Role of Vegetation in Stability and Protection of Slopes*. In: *Biotechnical Slope Protectional and Erosion Control*. New York. Van Nortrand Reinhold.

GUSMÃO FILHO, J. A. (2006), **Desempenho de obras geotécnicas**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2006. 523 p.

GUSMÃO FILHO, J. A.; MELO, LV.; ALHEIROS, M. M. (1992), **Estudos das encostas de Jaboatão dos Guararapes – PE**. In: 1º CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, Rio de Janeiro – RJ. Anais. COBRAE. v. 1.

IWASA, O. Y. e FENDRICH, R. (1998), **Controle de erosão urbana**. In. OLIVEIRA, A. M. S. & BRITO, S. N. A. (Org.) *Geologia de Engenharia – ABGE*. pp. 272-28.

KOBIYAMA, M. et al. (2006), **Prevenção de Desastres Naturais: conceitos básicos**. Curitiba. Organic Trading, 2006.

LEINZ, V; AMARAL, S. E. do. (1987), **Geologia Geral**. 10ª ed. Revisada. São Paulo: Ed. Nacional, 1987. 397p.

LEROUEIL, S; VAUNAT, J.; PICARELLI, L.; LOCAT, J.; FAURE, R.; LEE, H. (1996). **A geotechnical characterization of slope movements**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF LANDSLIDES, 7, Trondheim, 1996, Balkema, Rotterdam, v.1.

LIMA, A. F. (2002). **Comportamento Geomecânico e Análise de Estabilidade de uma Encosta da Formação Barreiras na Área Urbana da Cidade do Recife**. Dissertação de Mestrado. UFPE. CTG. Engenharia Civil, Recife – PE.

LLOPIS TRILLO, G. (1999). *Control de la erosión y obras de desagüe. Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes*. Entorno Grafico S. L., Madri.

LOPES, S. F.; SANTOS, M. L.; GASPARETO, N. L. (2000), **Análise de metodologias de mapeamento**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geografia Física. p.606-615.

MOREIRA, C. V. R. e PIRES N. A. G. (1998), **Clima e Relevo**. In *Geologia de Engenharia*, ABGE. São Paulo – SP.

MOTA, S. (1997). **Introdução à Engenharia Ambiental**. Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES. Rio de Janeiro – RJ.

Município de Escada. Disponível em <<https://www.cidade-brasil.com.br/municipio-escada.html>>. Acesso em 05 de agosto de 2019.

Município de Escada. Disponível em <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15925/Rel_Escada.pdf?sequence=1>. Acesso em 05 de agosto de 2019.

MENDONÇA, M. B., e GUERRA, A.J.T. (1997), **A Problemática dos Processos Geodinâmicos frente a Ocupação de Encostas**. *Pan-American Symposium On Landslides*. II PSI/COBRAE. ABMS-ABE-ISSMGE. Anais: Rio de Janeiro, v.2.

NASCIMENTO, S. R. do (2004), **Geoprocessamento Aplicado a Gestão de Informações Territoriais do município de Grossos – RN. Estudo Multitemporal do uso e ocupação do solo**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal – RN.

NASSIF. L. (2011), **A riqueza do bioma caatinga**. Disponível em: <<https://jornalggn.com.br/noticia/a-riqueza-do-bioma-caatinga/>>. Acesso em 08 de agosto de 2019.

NOGUEIRA, F. R. (2002), **Gerenciamento de riscos ambientais associados a escorregamentos: contribuição às políticas públicas municipais para áreas de ocupação subnormal**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista. Instituto de Geociências e Ciências Exatas. São Paulo – SP.

NOGUEIRA, F. R. (2006), **Gestão dos Riscos nos Municípios**. In: BRASIL. CARVALHO, C. S. e GALVÃO, T. (org). *Prevenção de Riscos de Deslizamentos em Encostas: Guia para Elaboração e Políticas Municipais*. Brasília: Ministérios das Cidades; Cities Alliance, 2006, p.26-45.

OLIVEIRA, E. S. de (2019), **Mapeamento de risco e perigo de movimentos de massa em comunidades de morros do Recife – PE. Estudo de caso**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Católica de Pernambuco. Recife – PE.

PEDROSA, F. J. A.; ALVES, J. L. **Gestão do Desenvolvimento Local Sustentável**. In: André Felipe Albuquerque Fell; Antônio Souza S. Júnior; Silvio Luiz de

Paula; Marcleide M. M. Pederneiras. (Org.). *Perspectivas Contemporâneas em Administração e Organizações*. 1ed. João Pessoa: CCTA UFPB, 2019, v. 1, p. 239-252.

PEDROSA, F.J.A.; CAVALCANTI, B.V.P. **Degradação Ambiental E Direitos Humanos**. In: CIRNE, L.F. R.; CLAUDIO, M.R.; MONTEIRO, V. B. (Org.). *70 anos de declaração dos direitos humanos, as diversas faces dos direitos humanos*. Recife, Instituto Humanitas, UNICAP, p. 27-35, 2018. ISBN 978-85-7084-377-7 (E-Book).

PFALTZGRAFF, P. A. d. S. (2007). **Mapa de Suscetibilidade a Deslizamentos na Região Metropolitana do Recife**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco CTG. Recife – PE.

PRANDINI, NAKAZAWA e FREITAS (1992), **Cartografia Geotécnica nos Planos Diretores Regionais e Municipais**. In: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Curso de Geologia de Engenharia aplicada a problemas ambientais. São Paulo – SP. DIGEM/AGAMA. pp.233-254.

QGIS. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/about/index.html>. Acesso em 23 de julho de 2019.

ROSA, R. (2013), **Introdução ao Geoprocessamento**. Universidade Federal de Uberlândia. Instituto de Geografia. Laboratório de Geoprocessamento. Disponível em <http://professor.ufabc.edu.br/~flavia.feitosa/cursos/geo2016/AULA5-ELEMENTOSMAPA/Apostila_Geop_rossa.pdf>. Acesso em 15 de julho de 2019.

SALOMÃO, F. X. T. e IWASA, O. Y. (1995), **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. São Paulo, ABGE/IPT Cap.3. pp.31-57.

SILVA, L. A. da; MENDES, L. A. M.; JÚNIOR, B. N. (2003), **Utilização de um sistema de informação geográfica para o gerenciamento de dados sobre acidentes de trânsito em vias urbanas: estudo de caso em São João Del Rei – MG**. Trabalho de conclusão de curso. Universidade Presidente Antônio Carlos. Barbacena – MG.

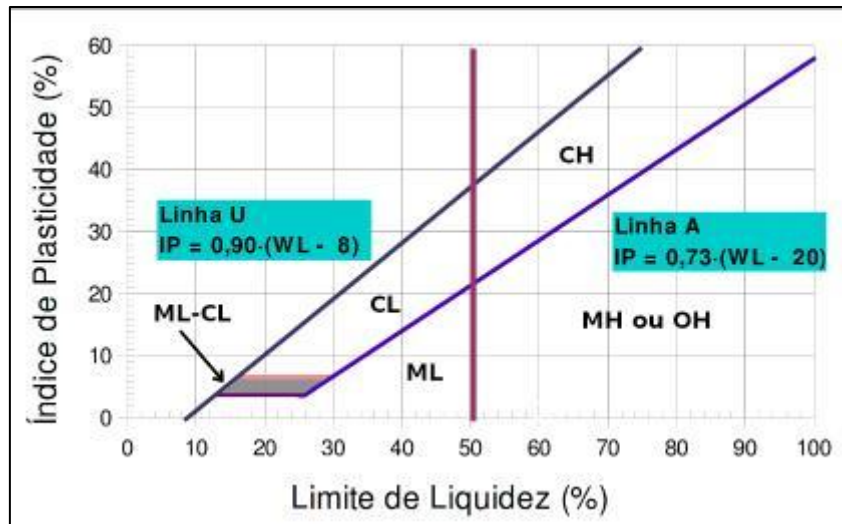
SILVA, M. M. (2007). **Estudos geológico-geotécnico de uma encosta com problemas de instabilidade no Município de Camaragibe – PE**. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Pernambuco CTG. Engenharia Civil. Recife – PE.

SCHUSTER e KOCKELMAN (1996), **Principles of Landslide Hazard Reduction**. In *Landslides Investigation and Mitigation*. Cap 5. Special Report 247.

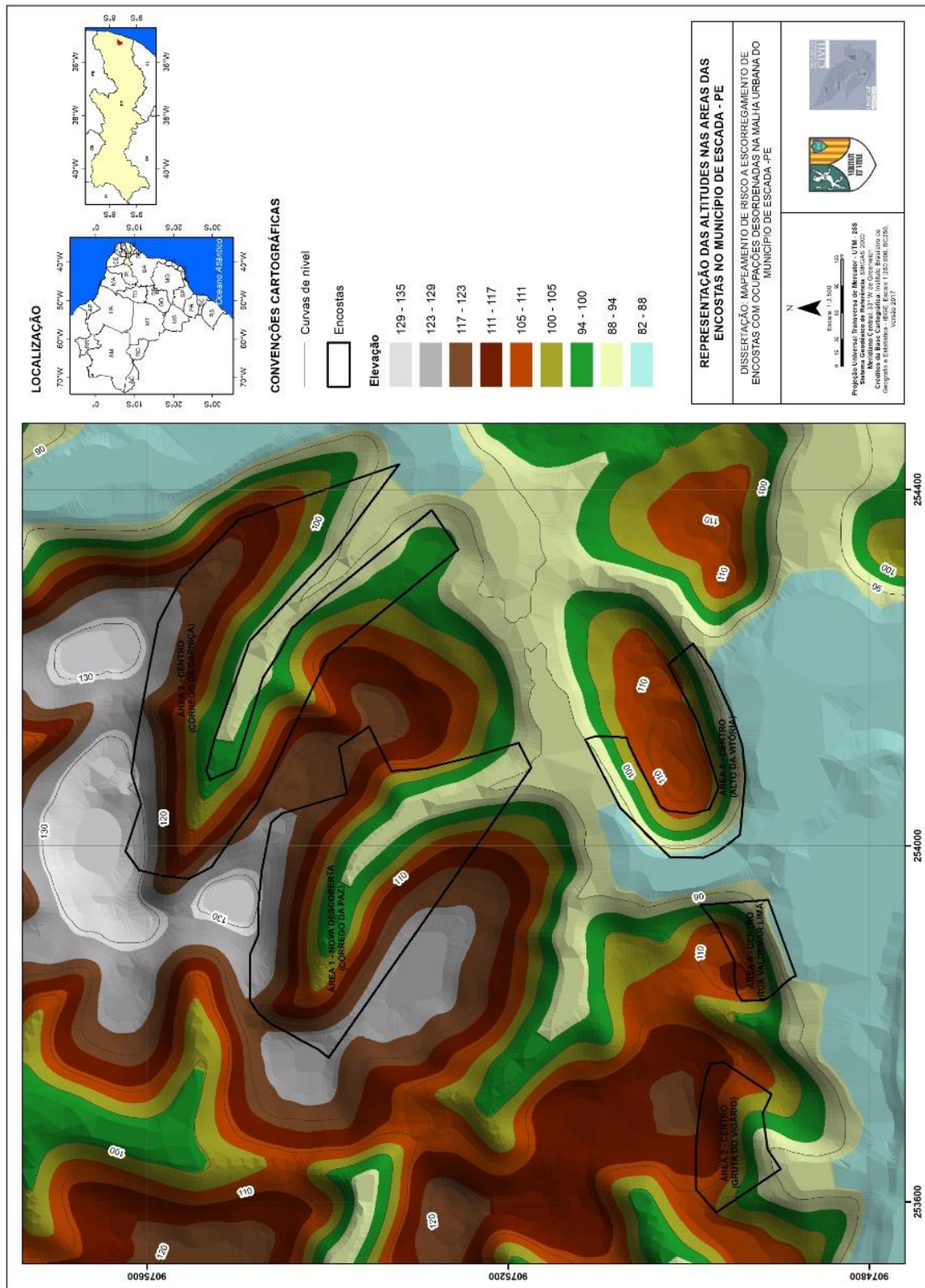
VARNES, D. J. & IAGE (1984), *Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO. Paris. p. 63.

WIGGERS, M. M. (2013), **Zoneamento das áreas de risco a movimentos de massa no perímetro urbano do município de Caixas do Sul (RS)**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Geociências. Porto Alegre – RS.

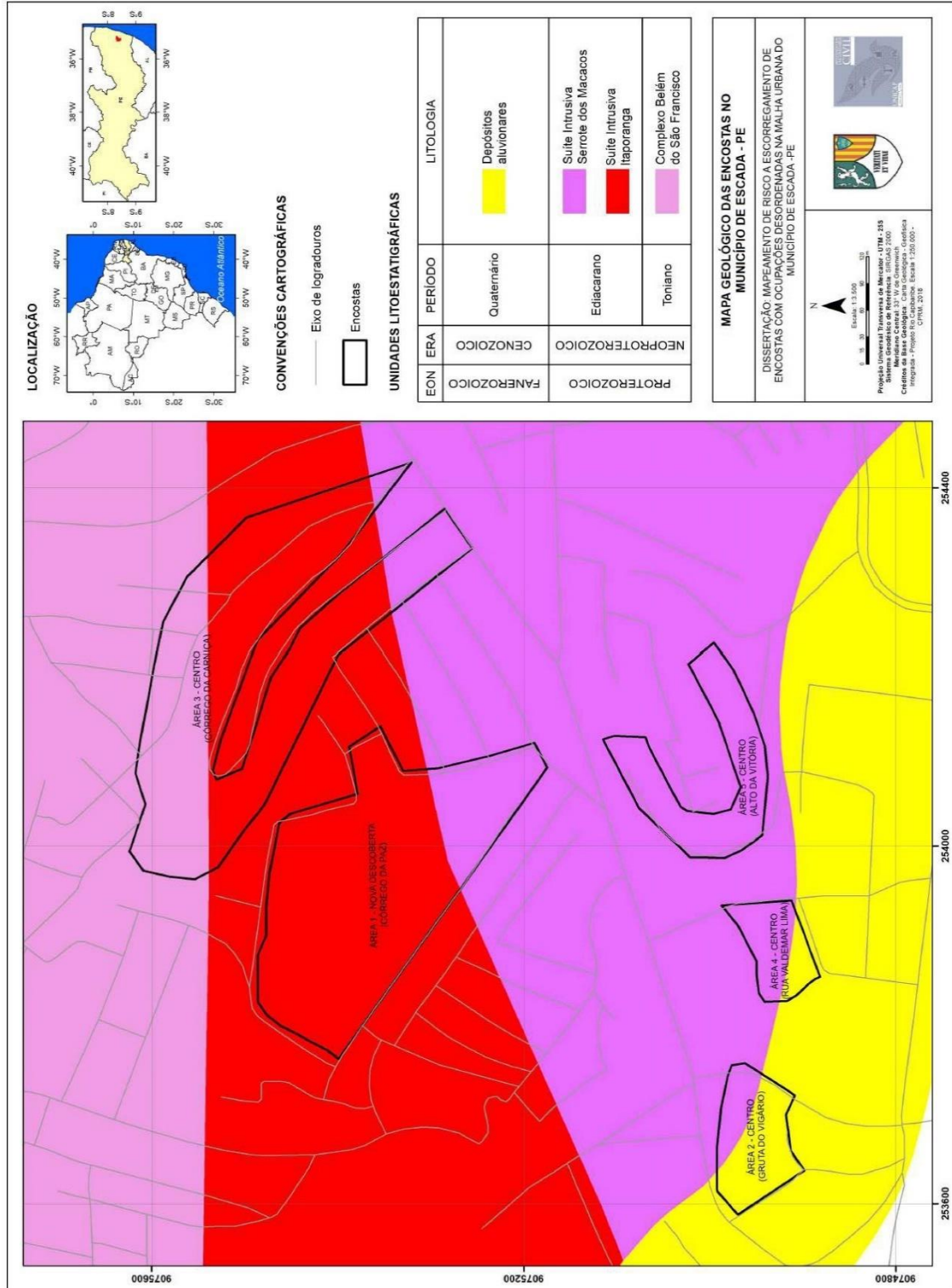
Anexo A – Fluxograma e Carta de plasticidade da S.U.C.S.



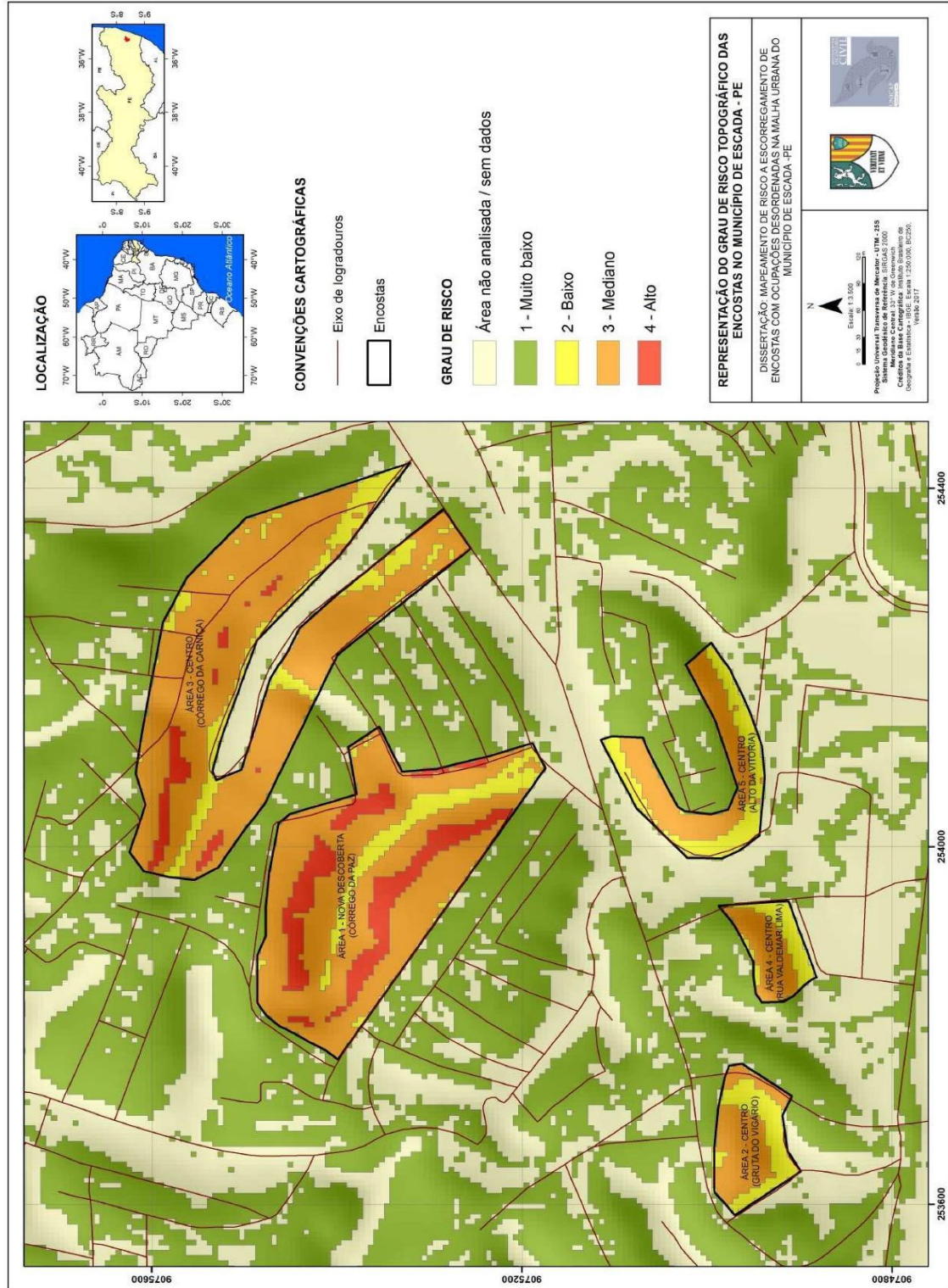
Apêndice A – Curvas de níveis das áreas estudadas



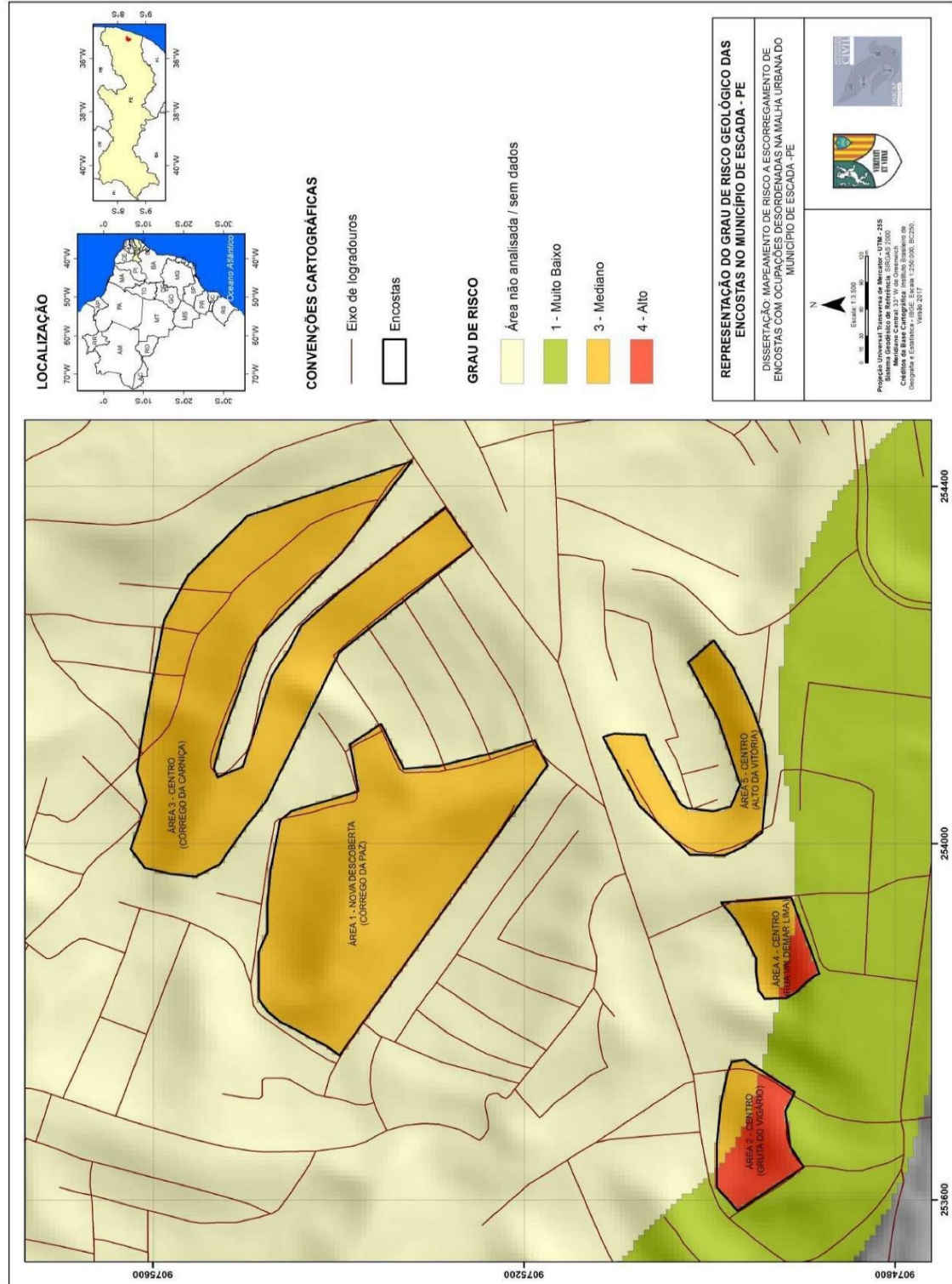
Apêndice B – Unidades litoestratigráficas presentes nas áreas de estudo



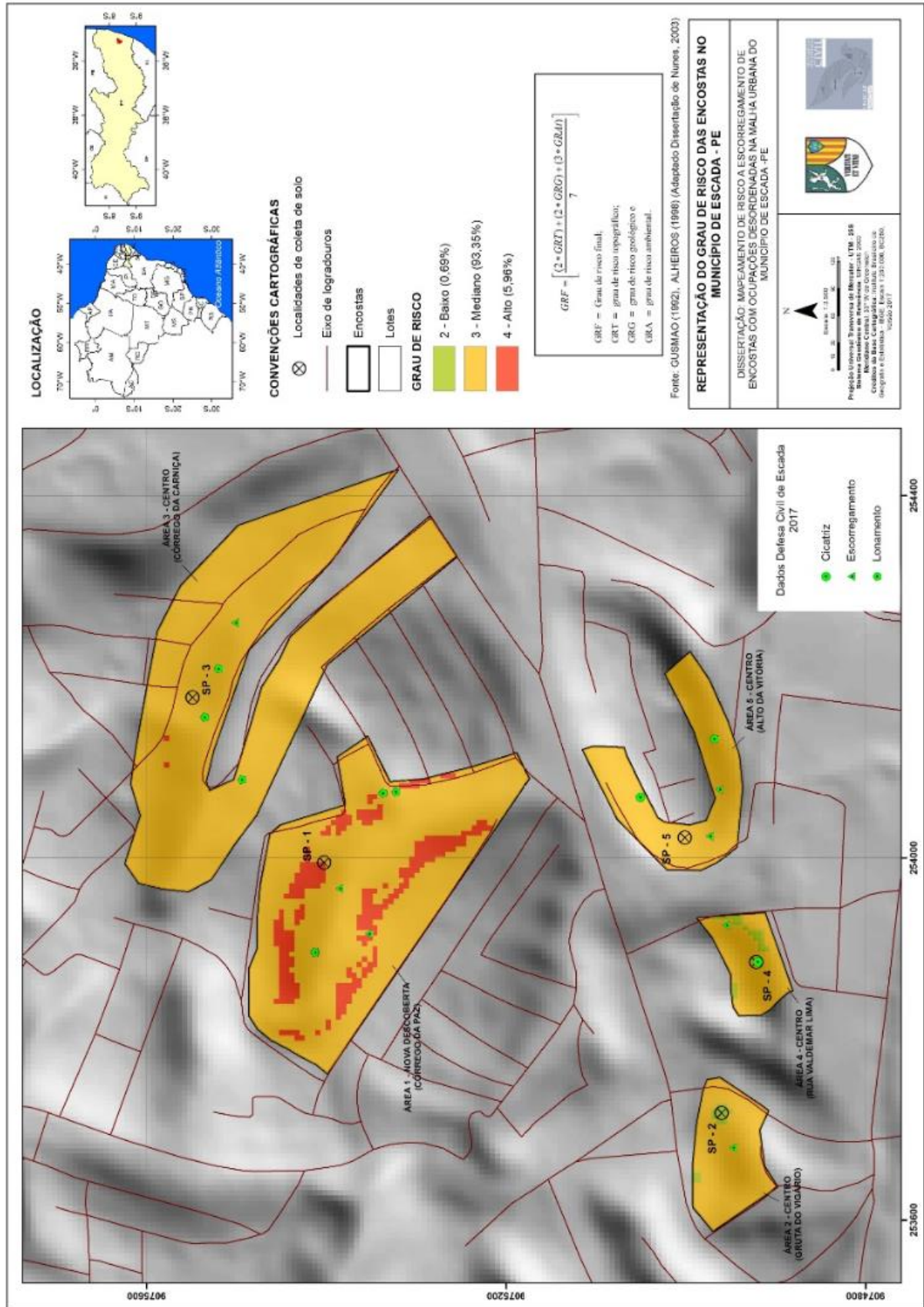
Apêndice C – Mapa de suscetibilidade para o fator topográfico



Apêndice D – Mapa de suscetibilidade para o fator geológico



Apêndice F – Mapa de suscetibilidade final



Apêndice H – Mapa de Lotes

